

画像処理による人流計測システム

Pedestrian Traffic Measurement System Using Computer Vision

馬場 賢二

■ BABA Kenji

榎原 孝明

■ ENOHARA Takaaki

湯浅 裕一郎

■ YUASA Yuichiro

従来、道路や公共施設などでの歩行者通行量や歩行動線といった人流情報の計測は、人間の目視により行われることが多いため、長時間・長期間の計測は困難であった。更に、混雑が激しい状況では個々の人間の動きに追従できず、計測精度が著しく低下するという課題があった。

今回、東芝は、画像処理による人流計測システムを開発し、フィールドで検証を行った。その結果、混雑が激しい状況においても、98%以上の精度で人流計測ができることを確認した。このシステムの応用範囲は広く、例えば、小売業がマーケティング戦略を策定する際に必要となる、店舗への来訪者の数やその行動パターンなどの情報を獲得することができる。

The long-term measurement of pedestrian traffic, such as the number of people walking along public roads or visiting facilities, has been difficult because it has mostly depended on human vision. An additional problem is that the accuracy of measurement often severely declines in densely crowded situations due to limited tracking capability.

Toshiba has developed a pedestrian traffic measurement system applying image processing technology. A field trial confirmed that the measurement accuracy exceeds 98% in a densely crowded situation. This system can be used to obtain information of value to the retail trade, such as the number of customers visiting or their behavioral patterns during visits, to determine marketing strategies.

1 まえがき

道路における歩行者の通行量や動線といった人流情報は、周辺の土地や建物、広告看板などの価値を評定する際の重要な要素の一つである。また、駅や空港などの公共施設においては、人流情報に基づいた施設運営の効率化が求められている。

従来、人流情報の計測は、人間の目視による計測を基本としていた。そのため、長時間・長期間の計測は困難であり、混雑が激しい状況になると計測できないという問題があった。

これらの問題を解決するための試みとして、最近では、画像処理方式⁽¹⁾やレーザ方式⁽²⁾による人流計測の研究が盛んに行われている。

以下にそれぞれの方式の特徴を示す。

- (1) 画像処理方式 CCD (Charge Coupled Devices : 電荷結合素子) カメラなどで撮像された画像を輝度情報や色情報に基づき解析し、人間を検知する方式である。画像処理方式は獲得できる情報量が多く、利用者の年齢や性別、服装の色といった個人属性情報の抽出が可能となり、高い拡張性を持つ。
- (2) レーザ方式 照射したレーザ光パルスが往復する時間を計測し、実空間内の3次元情報を獲得することで、人間を検知する方式である。レーザ方式は原理的に高精度な計測が可能であり、照明条件や天候条件には依

存しないという特徴を持つ。

いずれの方式においても、人流計測の自動化を図ることで長時間・長期間の計測が可能となる。しかし、混雑が激しい状況下では、計測精度が低下するという課題がある。これは人間と人間の重なりによる隠蔽(いんべい)に起因する。この問題に対しては、カメラやレーザセンサを直上に設置することで隠蔽の発生自体を回避することが可能となるが、人流計測システムの設置場所に制限が生じる。

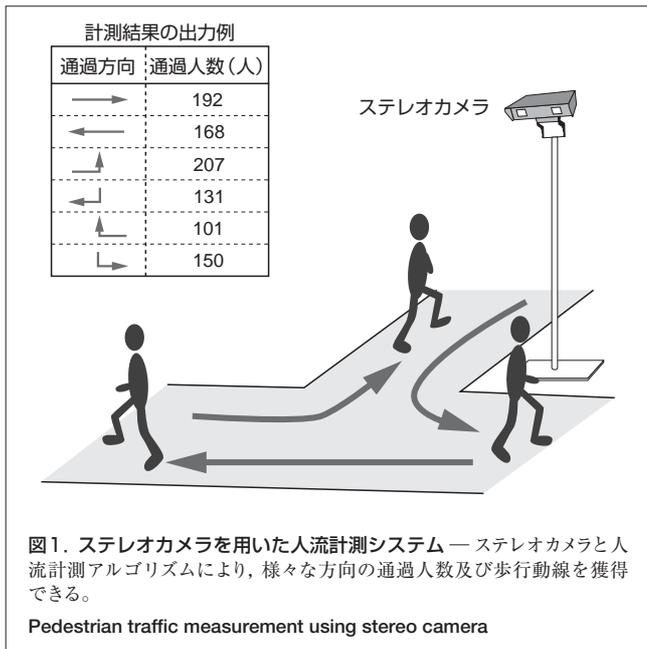
今回、東芝は、映像が持つ拡張性を重視し、画像処理による人流計測システムを開発した。このシステムは、監視カメラが通常設置される位置に2台のカメラ(ステレオカメラ)を設置し、隠蔽問題に関しては人流計測アルゴリズムで対処した。その結果、従来方式のようにカメラを直上に設置するといった設置場所の制限を受けることはない。

ここでは、今回開発した画像処理による人流計測システムの概要とその特長、及び人数計測を目的としたフィールド検証の結果について述べる。

2 画像処理による人流計測システム

画像処理による人流計測システムの概要を図1に示す。

このシステムは、監視カメラが通常設置される位置にステレオカメラを設置し、これらの映像を画像処理することで人流計測を行う。ステレオカメラを直上に設置しないため、隠



蔽問題が顕著化するが、これは後述する人流計測アルゴリズムで対処している。

このシステムの基本構成は、ステレオカメラと画像処理装置である。この基本構成に映像蓄積装置を接続することで、監視カメラシステムとしての併用が可能となる。

2.1 システムの特長

このシステムは、ステレオカメラを用いて人間の視覚と同様に実空間内の3次元情報を獲得し、撮像範囲内に存在する人間を検知する。実空間を3次元的に把握することで、以下の二つの特長を持つ。

- (1) 人間の位置や大きさ、更には移動方向や速度などの情報を抽出することができる。
- (2) 画像処理を行う際に問題となる影や天候変動などの影響に対してロバストである。

(1)の特長により、様々な方向の通過人数及び歩行動線を計測することが可能となる。また、(2)の特長により、屋内外を問わず様々な場所で人数計測を行うことが可能となる。

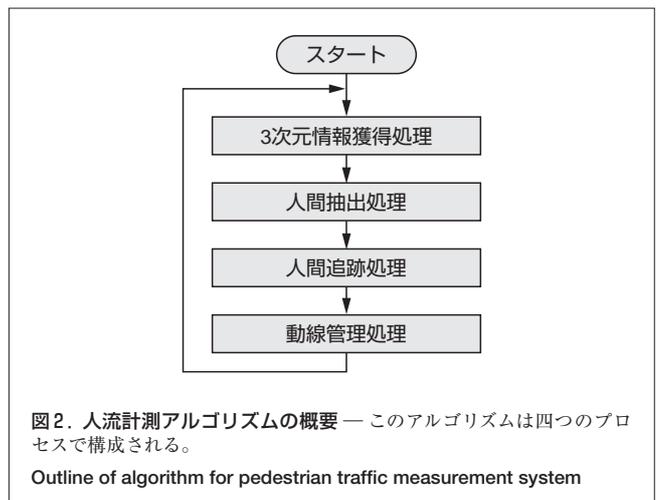
2.2 システムの構築

ステレオカメラを用いた画像処理でシステムを構築する際には、実空間内の3次元情報を獲得するためにカメラキャリブレーションの作業が必要不可欠となる。カメラキャリブレーションとは、実空間上の点を画像上の点に変換するカメラパラメータを獲得することである。従来のカメラキャリブレーション手法としては、Tsaiの手法⁽³⁾やZhangの手法⁽⁴⁾などが一般的である。しかし、両手法とも、画像上の特徴点抽出及び実空間上の点との対応付けを行う必要があり、カメラパラメータを獲得するまでに多くの工数が掛かるという課題があった。

このシステムでは、カメラキャリブレーションを離散最適化問題としてとらえ、平面投影ステレオ法⁽⁵⁾から得られる相関度を指標値とするキャリブレーション手法⁽⁶⁾を開発した。この手法は、画像上の特徴点抽出及び実空間上の点との対応付けを行う必要がないので、短時間でカメラパラメータを獲得することができる。この手法を用いることで、ステレオカメラを用いた人流計測システムの設置プロセスを大幅に改善することができた。その結果、システムの設置が容易になり、店舗やイベント会場などに仮設して人流計測を行う場合にも対応できる。

3 人流計測アルゴリズム

人流計測アルゴリズムは、隠蔽問題に対処した人間抽出処理と人間追跡処理をコアとして構成している。混雑が激しい状況下では、隠蔽の発生により獲得できる情報量が欠落し、更には隠蔽の発生前の状態から特徴量の変化が生じる。このアルゴリズムは、このような隠蔽による情報量の欠落及び特徴量の変化に対応し、人間を正確に抽出・追跡することを目的に開発した。人流計測アルゴリズムの画像処理につき概要を図2に示す。

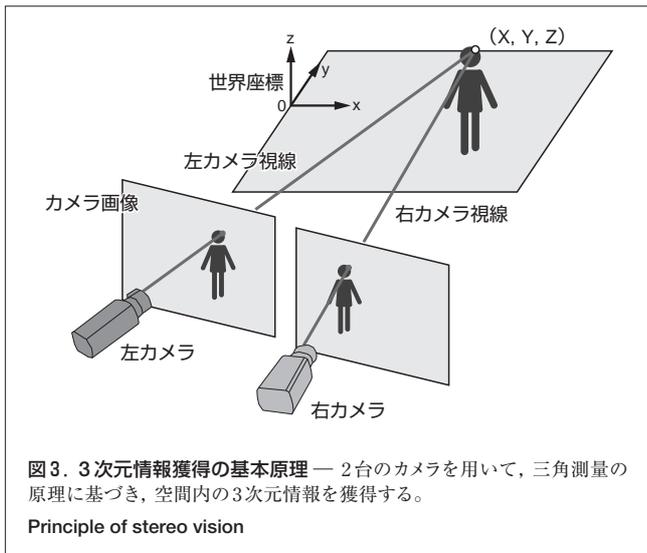


3.1 3次元情報獲得処理

3次元情報獲得処理では、図3に示すように、左カメラ視線と右カメラ視線の交点を求めることで実空間内の3次元情報を獲得する。なお、カメラ視線は、前述したカメラキャリブレーションで獲得したカメラパラメータを用いて導出する。

3.2 人間抽出処理

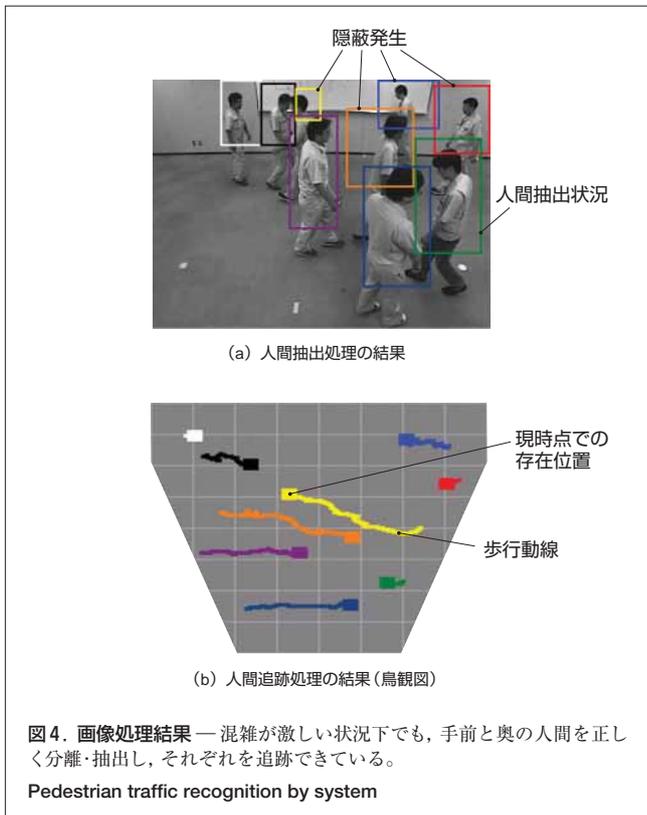
この処理では、前処理で獲得した実空間内の3次元情報に対し、人間の身体形状をモデルとして導入したクラスタリングを行い、人間を抽出する。ここでは、身体の一部が見えない場合でもクラスタリングすることが可能であり、更には次



節で述べる人間追跡処理の結果で補完することにより、隠蔽問題に対応できる。

3.3 人間追跡処理

この処理では、現在と過去のフレームで抽出された人間の間で相関度が最大となる組合せを探索し、その結果に基づいて人間を追跡する。このとき、3次元空間情報や時間情報などを高次特徴量として定義し、高次特徴量の相関度を用いることで、隠蔽の発生により身体の見え方が変化した場合にも追跡が可能となる。



3.4 動線管理処理

この処理では、人間を追跡した結果を歩行動線として管理し、この歩行動線を累積することで動線マップを獲得できる。人数計測に適用する場合には、任意に設定できる計測ゲートと歩行動線がクロスしたときに通過人数の計上を行う。この際、移動方向や速度などの情報を付加した計測が可能である。

3.5 画像処理結果

人流計測アルゴリズムの画像処理結果を図4に示す。図4(a)に示した人間の抽出状況を示す処理結果では、隠蔽の発生により情報量が欠落している人間に対しても抽出に成功している。また、図4(b)に示した人間の位置及び歩行動線を示す鳥観図では、隠蔽の発生前後で特徴量に変化した人間に対しても追跡に成功し、歩行動線が獲得できている。

4 フィールド検証

人数計測を目的として、屋外の道路でフィールド検証を行った。この章では、人間と人間の重なりによる隠蔽問題が常に発生している時間帯について検証した結果を述べる。

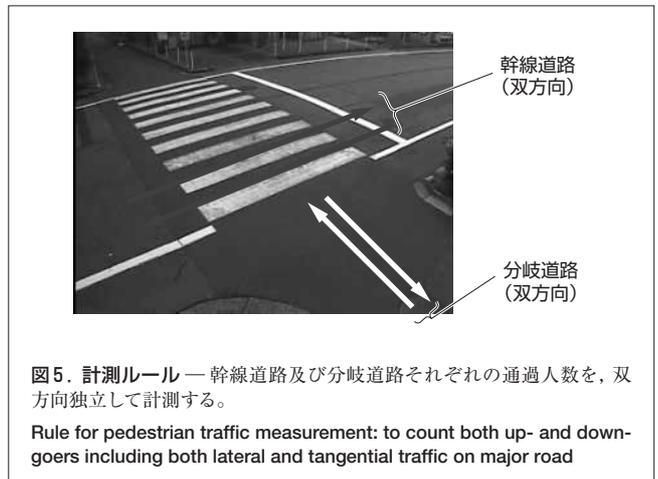
4.1 フィールド検証の概要

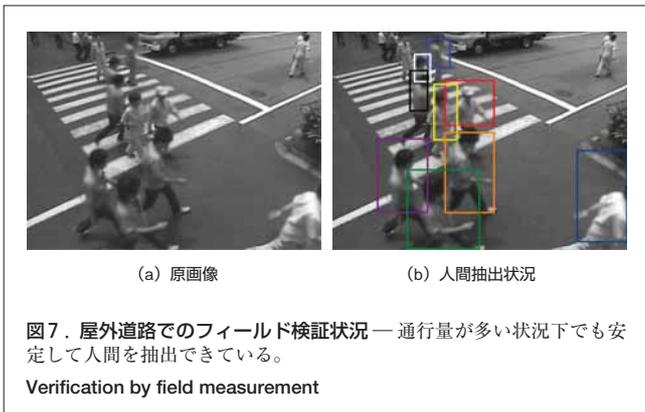
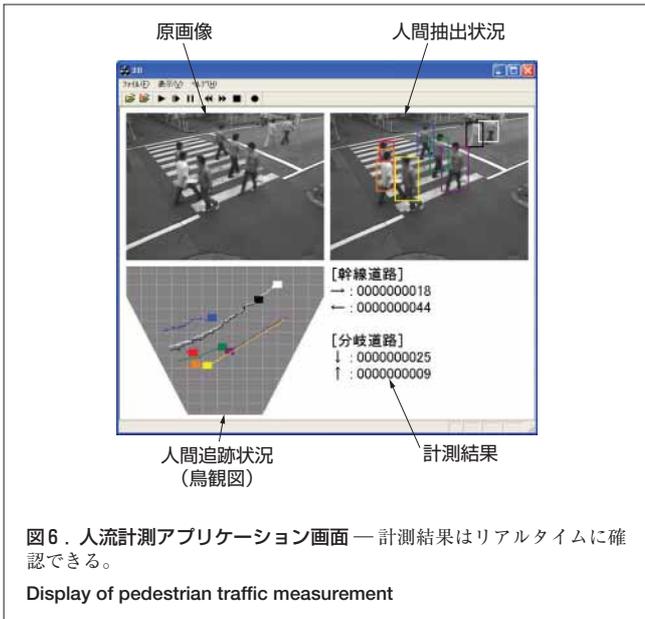
図5に示すように、幹線道路及び分岐道路において、各方向に通過する人数の計測を行った。今回の検証では、人間の全身を撮像できる道路の中央までを計測範囲とした。

今回のフィールド検証状況を確認するためのアプリケーション画面を図6に示す。人数計測状況は、この画面によりリアルタイムで確認することができ、また、過去に計測した結果の累計や統計解析の結果なども検索できる。

4.2 検証結果

屋外道路での人数計測状況を図7に示す。計測時間は1時間で、この間1,500人を超える歩行者が通過した。通過人数の真値は人間の目視による計測が必要となるが、混雑





が激しい状況が多かったため、リアルタイムでの計測は不可能であった。そこで今回は、録画映像をスロー再生することで真値の計測を行った。

通行量が多かったこの時間帯において、通過人数の真値とシステムが出力した計測結果、及び人数計測精度を表1に示す。人数計測精度は、システムの計測結果と真値の比として算出し、計測結果には過剰計測と未計測が含まれる。

表1. 通過人数の計測結果
Results of measurement in comparison with actual counts

項目		計測結果			
		幹線道路		分岐道路	
		左→右	右→左	上→下	下→上
通過人数	真値 (人)	264	855	332	58
	計測結果 (人)	259	842	329	58
計測精度	道路別 (%)	98.1	98.5	99.1	100
	合計 (%)	98.4		99.2	

検証結果から、分岐道路の人数計測精度は99.2%，幹線道路の人数計測精度は98.4%となった。全体として98%以上の人数計測精度を実現し、今回開発した人流計測アルゴリズムが隠蔽問題に対して有効であることを確認できた。また、幹線道路の人数計測精度が分岐道路に比べて低下傾向にあるのは、遠方の人間に関して情報量が減少し、かつ、完全な隠蔽状態に陥る場合が増加することに起因する。

5 あとがき

ステレオカメラを用いた画像処理による人流計測システムを開発し、人間の重なりによる隠蔽問題が多発する場所でフィールド検証を行った。その結果、リアルタイムでの人数計測として、計測精度98%以上を実現したことを確認した。

今後は、このシステムを小売業のマーケティング戦略策定時の支援において、店舗への来店者の数やその行動パターン分析に適用する一方で、不審者監視などセキュリティシステム分野への適用拡大を図る。

文献

- (1) 小川浩太郎, ほか. “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. 横浜, 2001-03, 精密工学会. p.18-22.
- (2) 中村克行, ほか. “マルチレーザスキャナを用いた歩行者の抽出”. 第10回画像センシングシンポジウム講演論文集. 横浜, 2004-06, 画像センシング技術研究会. p.409-414.
- (3) Tsai, R.Y.; Huang, T.S. Uniqueness and estimation of three-dimensional motion parameters of rigid objects with curved faces. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. **6**, 1, 1984, p.13-27.
- (4) Zhang, Z. A flexible new technique for camera calibration. Technical Report MSR-TR-98-71, Microsoft Research, 1998. (on line), available from <<http://research.microsoft.com/users/zhang/Papers/TR98-71.pdf>>, (accessed 2005-03-08).
- (5) 小野口一則, ほか. 平面投影ステレオ法を用いた道路領域抽出. コンピュータビジョンとイメージメディア. **93**, 7, 1995, p.61-68.
- (6) 榎原孝明, ほか. 平面投影ステレオ法を用いたカメラキャリブレーション手法. 電子情報通信学会技術研究報告. **105**, 281, 2005, p.45-48.



馬場 賢二 BABA Kenji

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 制御・ネットワークシステム開発部主務。画像処理ソフトウェアの開発に従事。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



榎原 孝明 ENOHARA Takaaki

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 制御・ネットワークシステム開発部。画像処理ソフトウェアの開発に従事。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



湯浅 裕一郎 YUASA Yuichiro

東芝テリー(株) 映像情報システム事業部 映像情報システム開発部参事。画像処理システムの開発に従事。

Toshiba TELI Corp.