

ステレオ画像処理を用いた歩行者の動線計測

榎原 孝明[†] 馬場 賢二[†] 大村 明弘[‡]

[†]株式会社東芝 電力システム社 電力・社会システム技術開発センター
〒183-8511 東京都府中市東芝町1 (府中事業所)

[‡]東芝テリー株式会社 マシンビジョン&メディカルイメージング事業部
〒191-0065 東京都日野市旭が丘 4-7-1

E-mail: [†] {takaaki.enohara, kenji2.baba}@toshiba.co.jp, [‡] a-ohmura@toshiba-teli.co.jp

あらまし 従来、道路や公共施設等での歩行者通行量の計測は、人間の目視により行われるが、歩行動線の計測は不可能であった。

今回、我々はステレオ画像処理による動線計測システムを提案する。本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ているため、混雑が激しい状況下では人間と人間の重なりによる隠蔽が発生する。そこで、我々は混雑が激しい状況下に対処する人間検知アルゴリズムを開発しフィールドにて検証を行った。その結果、混雑が激しい状況下における動線計測が可能となり、行動分析に有用な情報が獲得できることを確認した。

キーワード ステレオ画像処理, 歩行動線

Measuring Pedestrian Trajectories Utilizing Stereo Vision

Takaaki ENOHARA[†] Kenji BABA[†] and Akihiro OHMURA[‡]

[†] Power & Industrial Systems R&D Center, TOSHIBA CORPORATION
1, Toshiba-Cho, Fuchu-Shi, Tokyo, 183-8511, Japan(Fuchu Complex)

[‡] Machine Vision & Medical Imaging Engineering Dept, TOSHIBA TELI CORPORATION
4-7-1, Asahigaoka, Hino, Tokyo, 191-0065, Japan

E-mail: [†] {takaaki.enohara, kenji2.baba}@toshiba.co.jp, [‡] a-ohmura@toshiba-teli.co.jp

Abstract An accurate measurement of pedestrian trajectories on the public roads or in the public facilities, has been difficult because its measurement has mostly depended on human vision.

In this paper, we propose a pedestrian trajectories measurement system utilizing stereo vision. Occlusion occurs in a densely crowded situation because the stereo camera is placed in the surveillance camera position. We confirmed that system which can measure pedestrian trajectories even if in a densely crowded situation was realized, and were able to acquire the useful information for the traffic analysis through the field trial.

Keyword Stereo Vision, Pedestrian Trajectories

1. はじめに

安全・安心な社会の実現に向けた交通事故削減の取り組みでは、「ひと」対策、「クルマ」対策に加え、「道路交通環境」対策が重要である[1]。「道路交通環境」対策では、少子高齢化が進むことを踏まえ、信号機制御や歩道の拡幅といった道路交通環境の整備が求められている。その際、歩行者の通行量や歩行動線といった人流情報は有効な情報である。

しかし、従来の人流情報の計測は、人間の目視による計測を基本としていた。そのため、時系列に連続した位置情報である歩行動線の計測は不可能であった。

今回、我々はステレオ画像処理による動線計測システムを提案する。本システムはステレオカメラの映像を画像処理し、リアルタイムに自動で動線計測を行う。また、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、セキュリティ監視システムとしての併用を可能とする。

しかし、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すると、直上設置ではないため、混雑が激しい状況下では人間と人間の重なりによる隠蔽が発生する。そこで、我々は隠蔽問題に対処する人間検知アルゴリズムを開発した。

本稿では、ステレオ画像処理による動線計測システムの概要、隠蔽問題に対処する人間検知アルゴリズムについて述べる。また、混雑が激しい環境で実施したフィールド検証の結果について述べる。

2. ステレオ画像処理による動線計測システム

ステレオ画像処理による動線計測システムの概要を図1に示す。本システムは、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リアルタイムに自動で動線計測を行う。

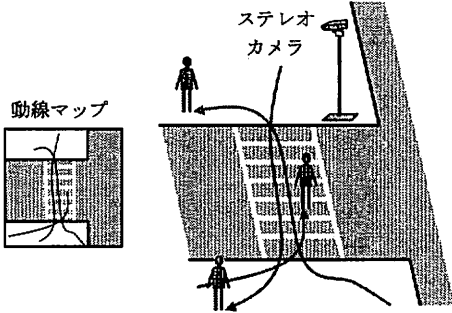


図1 ステレオ画像処理による動線計測システム

本システムは、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、以下の二つの特徴を持つ。

- (1) 実空間における人間の位置や大きさ、速度等の情報を抽出することが可能である。
- (2) 画像処理を行う際に問題となる影や天候変動等の影響に対してロバストである。

(1)の特徴により、歩行動線を計測することが可能となる。また、(2)の特徴により、屋内外を問わず様々な場所で動線計測を行うことが可能となる。

3. 人間検知アルゴリズム

本章では、隠蔽問題に対処する人間検知アルゴリズムについて述べる。人間検知アルゴリズムは、図2に示すように3次元情報獲得処理、人間抽出処理、人間追跡処理から構成される。

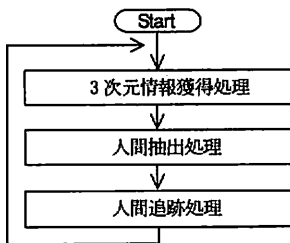


図2 人間検知アルゴリズムの概要

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。本アルゴリズムは、このような隠蔽による情報量の欠落ならびに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。

3.1.3 3次元情報獲得処理

本処理では、平面投影ステレオ法[2]を用いたリバースマッチングとカメラ視線の交点の算出を行い、実空間内の3次元情報の獲得を行う。本処理の基本原則は、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ある。

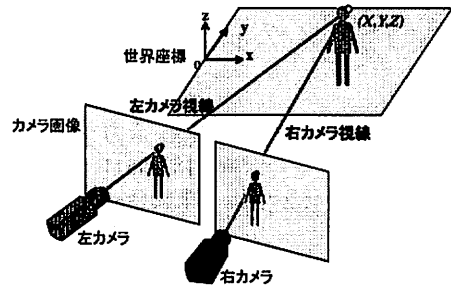


図3 3次元情報獲得処理の基本原則

3.1.1. 平面投影ステレオ法を用いたリバースマッチング

本手法では、まず平面投影ステレオ法を用いて、基準平面以外の領域を人間候補領域として抽出する。次に人間候補領域に対して、左画像と右画像から作成した投影画像とでリバースマッチングを行う。

リバースマッチングでは左画像と投影画像の両方で探索を行い、相関度が最大となる組合せが同一となる場合のみ、マッチングが成功したとみなす。また、相関度として正規化相関(式(1))を用いる。

$$r = \frac{\sum_{i,j} (f(i,j) - \bar{f}) \times (g(i,j) - \bar{g})}{\sqrt{\sum_{i,j} (f(i,j) - \bar{f})^2} \times \sqrt{\sum_{i,j} (g(i,j) - \bar{g})^2}} \quad (1)$$

r は正規化相関値、 $f(i,j)$ 、 $g(i,j)$ は画素の輝度値、 \bar{f} 、 \bar{g} はブロックの平均輝度値である。

本手法では、平面投影ステレオ法を用いて人間候補領域を抽出することで高速なマッチング処理を実現し、リバースマッチングを行うことで誤りの少ないマッチングを実現する。

3.1.2. カメラ視線の交点の算出

カメラ視線の交点を算出するために、まずカメラ視線を導出する。

図4に示すように、カメラ視線と基準平面の交点 $(X_{L0}, Y_{L0}, 0)$ 、 $(X_{R0}, Y_{R0}, 0)$ を獲得する。

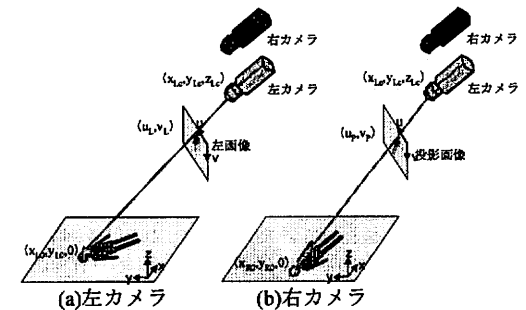


図4 カメラ視線と基準平面との交点

左カメラ (X_{Lc}, Y_{Lc}, Z_{Lc}) と上記で獲得した交点 $(X_{L0}, Y_{L0}, 0)$ を結ぶ直線が、左カメラ視線となる(図5(a))。また、右カメラ (X_{Rc}, Y_{Rc}, Z_{Rc}) と上記

で獲得した交点 $(X_{R0}, Y_{R0}, 0)$ を結ぶ直線が、右カメラ視線となる (図 5(b))。

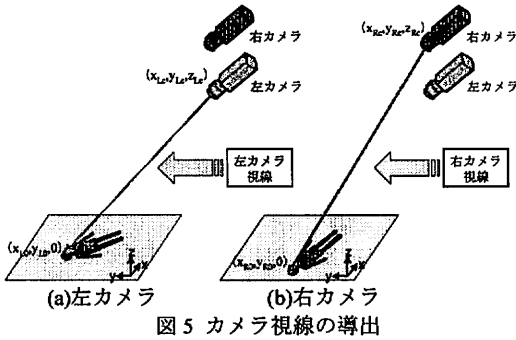


図 5 カメラ視線の導出

次に左カメラ視線と右カメラ視線の交点を求める (図 3)。この交点が、実空間内の 3 次元情報となる。

3.2. 人間抽出処理

本処理では、前節で獲得した 3 次元情報群に対し、2 次元 DBSCAN と 3 次元 DBSCAN を組合せたクラスタリング手法による人間抽出を行う。

DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) [3]とは、任意形状のクラスタが抽出可能な、密度に基づくクラスタリング手法である。図 6 に示すように、半径 E_{ps} 以内に MinPts 個以上の対象を含む対象を接続し、同一のクラスタに分類する。このときの接続関係を directly density-reachable(DDR)と呼ぶ。

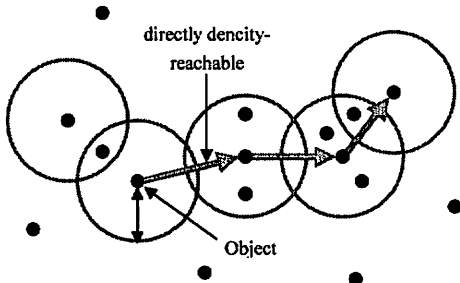


図 6 DBSCAN の基本原理

図 6 に示す接続の範囲について、2 次元 DBSCAN では真円で考えるのに対し、3 次元 DBSCAN では楕円で考える。これは、ステレオ画像処理が獲得できる 3 次元情報が 2.5 次元であることから、3 次元 DBSCAN では奥行き側が短くなる楕円を接続の範囲として考える。

この手法では、人間抽出を 2 次元画像での連続性と 3 次元空間での連続性に主眼を置いている。

以上から、本処理では 2 次元 DBSCAN と 3 次元 DBSCAN を組合せたクラスタリング手法を用いて、隠蔽の発生により獲得できる情報量が欠落し、形状が不定となる人間に対して抽出を行うことができる。

3.3. 人間追跡処理

本処理では、高次特徴量を用いた時系列マッチングにより人間追跡を行う。

高次特徴量として、

- 2次元位置, テクスチャ.
- 3次元位置, 3次元速さ, 3次元移動方向.
- 存在時間.

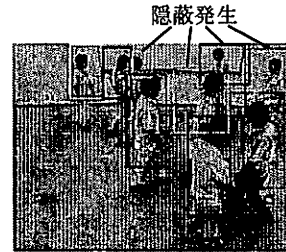
等を用いる。時系列で高次特徴量の相関度が最大になる組合せを求め、追跡を行う。

この手法では、3 次元位置以外の特徴量を用いた追跡を行っているため、隠蔽の発生による 3 次元位置のずれに対して影響なく追跡を行うことができる。

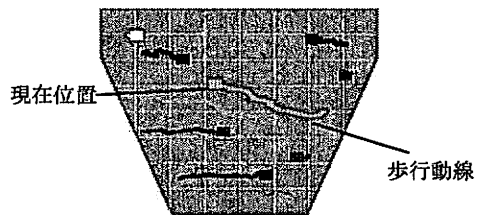
以上から、本処理では高次特徴量を用いた時系列マッチングを用いて、隠蔽の発生前後で特徴量に変化している人間に対して追跡を行うことができる。

3.4. 処理結果

人間検知アルゴリズムの処理結果を図 7 に示す。図 7(a)に示した人間抽出処理の結果では、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 7(b)に示した人間追跡処理の結果では、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。



(a)人間抽出処理の結果



(b)人間追跡処理の結果 (鳥瞰図)

図 7 処理結果

4. フィールド検証

本章では、人間と人間の重なりによる隠蔽が頻繁に発生している時間帯/場所において検証した結果について述べる。

今回のフィールド検証では、屋外道路と展示会場の 2 箇所にて動線計測を行った。フィールド検証に用いたカメラは、一般的な監視カメラである。

4.1. 屋外道路におけるフィールド検証

屋外道路にて、通行量が多い時間帯に動線計測を行った結果について述べる。

図 8 に示すように、幹線道路と分岐道路が交差する場所をターゲットに動線計測を行った。その際、計測範囲は人間の全身が撮像できる幹線道路の中央までとする。

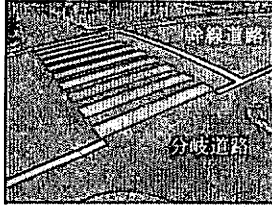
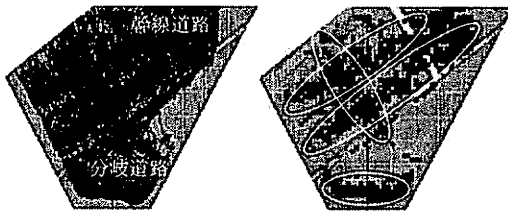


図 8 屋外道路

通行量が最も多かった 5 分間における動線計測の結果を図 9 に示す。図 9(a) は鳥瞰図に歩行動線を重ねた結果である。図 9(b) は歩行動線を蓄積した結果で、蓄積量が多いエリアを黒色で表している。このとき、5 分間で 193 人の歩行者が通行した。



(a) 重ね結果 (b) 蓄積結果
図 9 屋外道路における動線計測の結果

図 9(b) の黒色エリアの分布より、主動線が 4 本存在することが判る。2 本は幹線道路を真直ぐに歩行する歩行動線、1 本は分岐道路を真直ぐに歩行する歩行動線、1 本は幹線道路の左から分岐道路の下へ曲がる歩行動線である。

また、この屋外道路では 1 時間の計測時間で 1,500 人を超える歩行者が通行した。動線計測と同時にを行った通行量計測では、98%以上の通行量の計測精度を実現した[4]。

4.2. 展示会におけるフィールド検証

人間と人間の重なりによる隠蔽が頻繁に発生する環境である展示会にて、動線計測を行った結果について述べる。

図 10 に示すように、展示会場で一つの展示物をターゲットに動線計測を行った。図 10 は 1 日の歩行動線の蓄積結果である。図 10 の黒色エリアの分布より、展示物の周辺において来客者がどのような分布で滞留していたかが判る。

また、図 11 に時間ごとの平均滞留人数を示す。図 11 より、15:00~16:00 の 1 時間は混雑が激しく常時 5 人以上の滞留者が存在し、ピーク時には常時 10 人以上の滞留者が存在していたことが判る。

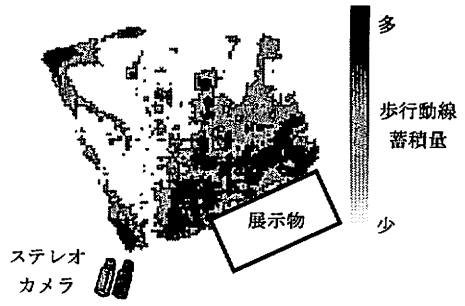


図 10 展示会場における動線計測の結果

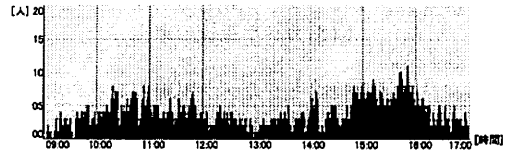


図 11 平均滞留人数

5. まとめ

ステレオ画像処理による動線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。その結果から、歩行動線を計測することにより、通行量だけでは判らないエリアに関する情報/滞留に関する情報を獲得できることを確認した。

今後は、道路交通環境の整備への適用だけでなく、歩行動線から獲得した位置や速度といった歩行者の情報を走行車両へ提供することでアクティブセーフティへの適用が考えられる。一方で、マーケティング分野において、小売業のマーケティング戦略策定時の支援として、店舗への来店者数の計測やその行動パターン分析への適用拡大が考えられる。

文献

- [1] (社)日本自動車工業会・交通統括部, “より効果的な交通安全対策の実施に向けて～自工会の交通安全への取り組み～,” JAMAGAZINE, pp.6-8, May.2007.
- [2] 小野口一則, 武田信之, 渡辺陸, “平面投影ステレオ法を用いた道路領域抽出,” 情報処理学会コンピュータビジョン研究会, 93, 7, pp.61-68, Mar.1995.
- [3] 神崎敏弘, “データマイニング分野のクラスタリング手法(2) - 大規模データへの挑戦と次元の呪いの克服 -,” 人工知能学会誌, 18, 2, pp.170-176, 2003.
- [4] 馬場賢二, 榎原孝明, 湯淺裕一郎, “画像処理による人流計測システム,” 東芝レビュー, 61, 12, pp.35-38, 2006.