

ステレオカメラを用いたインスタントな人流計測センサ

○ 柴田雅聡[†], 川下雄大[†], 増山岳人[‡], 梅田和昇[‡]

○ Masatoshi SHIBATA[†], Takehiro KAWASHITA[†],
Gakuto MASUYAMA[‡] and Kazunori UMEDA[‡]

[†]: 中央大学大学院理工学研究科, { shibata, kawashita }@sensor.mech.chuo-u.ac.jp

[‡]: 中央大学理工学部, { masuyama, umeda }@mech.chuo-u.ac.jp

設置環境を限定せず, 設置後にシステムの調整を必要としない人流計測システムを提案する. 本システムでは, 自動でシステムの調整を行うパラメータ推定と, 歩行者の人数と移動方向を計測する人流計測の2つのステージに分けて処理を行う. まず, ステレオカメラから得られる距離情報と画像を用いて, 通常, 設置後に調整が必要なパラメータを自動で推定する. その後, 混雑度合に応じて2種類の人流計測手法を使い分けて人流計測を行う.

<キーワード> ステレオカメラ, 人流計測, 人物検出, 人物追跡

1. 序論

近年, 施設での災害時における避難経路設計やマーケティングなどへ応用が可能なことから, 人流計測のニーズが高まっている. しかし現状では, 実際に作業員が歩行者を観察して人数と移動方向をカウントしているため, 多くの労力を必要とする. このことから歩行者の流れを自動で計測するシステムが期待されている.

また, CPU や GPU(Graphics Processing Unit) の性能向上によりリアルタイムでの距離計測が可能となった距離計測センサを用いた人流計測手法が提案されている[1][2]. これらの手法の多くは, センサにより得られる三次元情報を用いて人物を検出し, フレーム間での三次元座標の推移から人の流れを計測する. しかし, これらの手法はセンサの設置条件が限定されるため, 人物同士の重なりが生じないように天井にカメラを設置する, 複数のセンサを要するなどという課題がある. さらに, 設置箇所ごとにシステムの専門的な調整が必要となるため, 設置後に設置箇所を移動することは難しい.

そこで, 本稿では設置環境を限定せず, 設置後もシステムの調整を必要としない人流計測センサを提案する. 今後は, このシステムをインスタント人流センサと呼ぶ.

2. インスタント人流センサ

インスタント人流センサでは, ステレオカメラ(Bumblebee2, Point Grey Research)を用いて計測を行う. 図1に処理の概要を示す. 本システムでは, 2つのステージに分けて処理を行う. まず, ステレオカメラから得られる距離情報と画像を用いて, 設置後に調整が必要なパラメータを自動で推定する. その後, 混雑度合により, 2種類の人流計測手法から1手法を選択し, 人流計測を行う.

また, 歩行者の検出には, 計測対象を移動物体に制限する差分ステレオ[3]と, 3次元情報を用いて画像内で重なっている人物を個々に切り分けて検出する距離画像セグメンテーション[4]とを組み合わせて用いる. これにより, 人物の重なりが発生しやすい環境においても計測を可能にする.

3. パラメータの自動推定

3.1 背景差分に用いるしきい値の推定

差分ステレオでは, 画像中で歩行者が存在する領域を限定するために, 背景差分により前景領域を抽

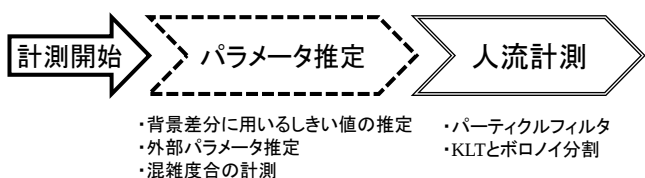


図1 インスタント人流センサの処理概要

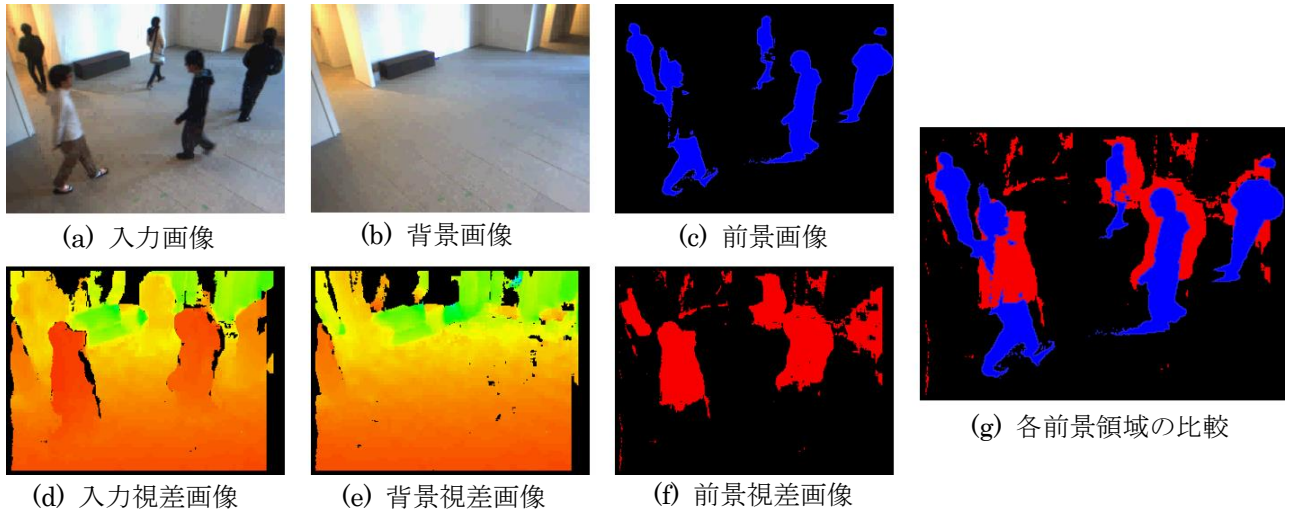


図2 背景差分に用いるしきい値の推定

出する。しかし、設置環境ごとに照明環境が異なるため、計測シーンに応じた背景差分に用いるしきい値を設定する必要がある。そこで、照明環境の影響を受けにくい視差画像を用いて、しきい値を推定する。

まず、入力画像(図2(a))と背景画像(図2(b))を用いて、しきい値を変化させながら背景差分を行い、複数枚の前景画像を抽出する。次に、視差画像(図2(d))と背景視差画像(図2(e))に対して、背景差分を行い、前景視差画像を抽出する。その後、前景視差画像と複数の前景画像の比較を行う(図2(g))。前景領域と視差前景領域が重なっている画素数を TruePositive、前景領域のみの画素数を FalsePositive、視差前景領域のみの画素数を FalseNegative とし、評価値 F を以下の式より算出する。

$$\begin{aligned} Precision &= \frac{TruePositive}{TruePositive + FalsePositive} \\ Recall &= \frac{TruePositive}{TruePositive + FalseNegative} \\ F &= \frac{2Recall \times Precision}{Recall + Precision} \end{aligned} \quad (1)$$

この評価値 F が最も高くなる前景領域が抽出できるしきい値を複数フレームで求め、その平均値を最適なしきい値として用いる。

3.2 外部パラメータ推定

カメラに映る歩行者の寸法情報や実環境での3次元位置を計測するためには、カメラの外部パラメータである姿勢 R と位置 t を求めなければならない。そこで、ステレオカメラから得られる視差画像に対して RANSAC を用いることで床面を推定し、カメラの光学中心と推定された床面の幾何学的関係より、カ

メラの外部パラメータを求める。その際、歩行者の重心位置を集積した点群と背景視差画像の点群のそれぞれから床面を推定する。画像内に床面の面積が多く含まれる場合、背景視差画像の点群から求めた床面の方が精度よく推定できるため、通常は背景視差画像の点群を用いて外部パラメータを推定する。しかし、設置環境によっては壁などを床面と推定してしまうため、それぞれの点群から推定された床面のなす角が大きい場合、歩行者重心の点群を用いて外部パラメータを推定する。

まず、人物が歩行している面を平面と仮定し、歩行者の重心位置における点 (u, v, d) を取得し、点群として蓄える。図3の左に図2のシーンにおける人物の重心の点群を示す。ここで、 d は画像座標 (u, v) での視差である。また、背景視差画像からも点群を取得する。次に、それぞれの点群からランダムに3点を選び、その3点を通る平面を求める。この平面上にある点群の数 N をカウントする。この時、点 $P_1(u_1, v_1, d_1)$, $P_2(u_2, v_2, d_2)$, $P_3(u_3, v_3, d_3)$ を通る平面の式は

$$\begin{aligned} a(u - u_1) + b(v - v_1) + c(d - d_1) &= 0 \\ a &= (v_2 - v_1)(d_3 - d_1) - (d_2 - d_1)(v_3 - v_1) \\ b &= (d_2 - d_1)(u_3 - u_1) - (u_2 - u_1)(d_3 - d_1) \\ c &= (u_2 - u_1)(v_3 - v_1) - (v_2 - v_1)(u_3 - u_1) \end{aligned} \quad (2)$$

で与えられる。

それぞれの点群に対して、複数回、ランダムに選択した3点から平面を作成し、 N が最も大きいものをそれぞれの点群に対する最適モデル平面とする。次に、最適モデル平面をカメラ座標 (x, y, z) に変換する。歩行者重心の点群から求めた平面における a , b , c を a'_h , b'_h , c'_h と、背景視差画像の点群から求

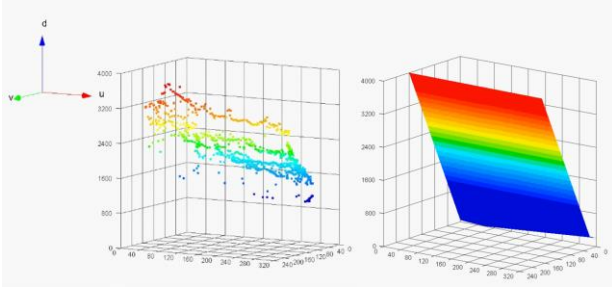


図3 人物重心位置の点群から推定された平面

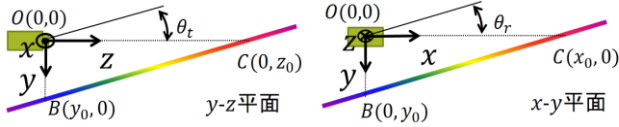


図4 カメラの光学中心と推定平面の幾何学的関係

めた平面における a, b, c を a'_b, b'_b, c'_b とおく. このとき, 2 つのカメラ座標系における平面のなす角 θ は,

$$\theta = \cos^{-1} \frac{a'_h a'_b + b'_h b'_b + c'_h c'_b}{\sqrt{a'^2_h + b'^2_h + c'^2_h} \sqrt{a'^2_b + b'^2_b + c'^2_b}} \quad (3)$$

で与えられる. この θ が 45° 以上の場合, 背景視差画像の点群から求めた平面が床面でないと判断し, 歩行者重心の点群から外部パラメータを推定する. θ が 45° 未満の場合, 背景視差画像の点群から外部パラメータを推定する.

カメラの地面からの高さ t_3 , つまりカメラと地面の最短距離は

$$t_3 = \frac{|a'x_1 + b'y_1 + c'z_1|}{\sqrt{a'^2 + b'^2 + c'^2}} \quad (4)$$

より求まる. また, 図4のようにカメラ座標系における各軸 X_c, Y_c, Z_c と最適モデル平面の交点をそれぞれ A, B, C, カメラの光学中心を O とおくと, 仰角 θ_t とロール角 θ_r はそれぞれ $\overrightarrow{OC}$ と $\overrightarrow{BC}$, $\overrightarrow{OA}$ と $\overrightarrow{BA}$ の関係から以下のように求めることができる.

$$\begin{aligned} \theta_t &= \cos^{-1} \frac{z_0}{\sqrt{y_0^2 + z_0^2}} \\ \theta_r &= \cos^{-1} \frac{x_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}} \end{aligned} \quad (5)$$

ただし,

$$\begin{aligned} x_0 &= \frac{1}{a}(by_1 + cz_1) + x_1 \\ y_0 &= \frac{1}{b}(ax_1 + cz_1) + y_1 \\ z_0 &= \frac{1}{c}(ax_1 + by_1) + z_1 \end{aligned} \quad (6)$$

である.

3.3 混雑度合の計測

背景差分を用いた人物検出では, 混雑度合に応じて, 一つの前景領域内に含まれる人数が異なる. そこで, 人物の混雑度合を計測し, 2 種類の人流計測手法から 1 手法を選択して用いる.

画像内において混雑・非混雑を判別する場合, カメラからの距離に応じて人物の大きさは変化するため, 前景領域の面積だけでは判別できない. そこで, 画像内における物体の大きさがカメラの光軸方向の距離の二乗に反比例して小さくなることを利用し, 前景領域の面積を補正する. ここで, 歩行者の前景領域の画素の合計を面積 S , 集団までの光軸方向の距離を z とすると, 補正後の面積 A は,

$$A = S \cdot z^2 \quad (7)$$

で与えられる. A は, 物体の大きさが一定であれば, 距離によらず, 一定の値になる. この A に対して, しきい値を設けることで, 混雑・非混雑を判定する.

4. 人流計測

4.1 パーティクルフィルタによる人流計測

混雑度合が低く, 個々に歩行者を検出できる場合, 検出された人物の重心に対してパーティクルフィルタを適用し, 追跡を行う[5]. パーティクルフィルタは, 予測, 尤度計算, 対応付け, リサンプリングの 4 つの処理を毎フレーム繰り返すことで追跡を行なう. インスタント人流センサでは, 対応付けの際に, 歩行者位置と進行方向を考慮した評価値を用いることで, 人物同士の重なりが発生した場合でも, ロバストな追跡を行う.

4.1.1. 歩行者位置を用いた対応付け

歩行者位置による対応付けの評価値は, 尤度計算の処理により重み付けられたパーティクル群の重心位置と各歩行者の重心位置のユークリッド距離 D_d を用いる. 評価値 D_d は, 次式で求められる.

$$D_d = \sqrt{(X_p - X_h)^2 + (Y_p - Y_h)^2} \quad (8)$$

X_p, Y_p は世界座標系におけるパーティクル群の重心位置, X_h, Y_h は世界座標系における検出された歩行者の重心位置を表している.

4.1.2. 進行方向を用いた対応付け

進行方向による対応付けの評価値は, パーティクルの保持している移動履歴から算出した進行方向と各フレームの各歩行者の進行方向の角度差を用いて

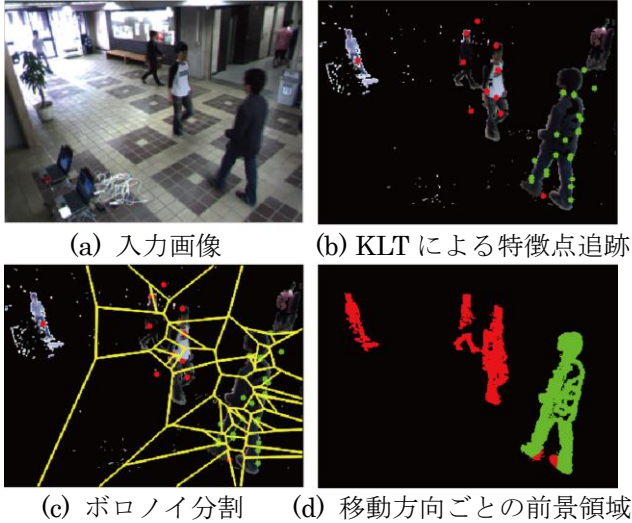


図 5 KLT とボロノイ分割を用いた人流計測手法

算出する．進行方向による評価値 D_a を次式で求める．

$$D_a = \begin{cases} k^\alpha - 1 & (\alpha < \alpha_{thr}) \\ k & (otherwise) \end{cases} \quad (9)$$

k は重みとして用いる定数， α はパーティクルの保持している位置情報から算出した進行方向と各フレームで算出した歩行者の進行方向の角度差， α_{thr} は閾値を表している．

以上の位置・進行方向の評価値 $D_d \cdot D_a$ を足しあわせ，最小の値を持つ人物を追跡中の人物とし，対応付けを行う．

4.2 KLT とボロノイ分割による人流計測

混雑度合が高い場合，歩行者を個々に検出することは困難なので，対応点探索手法であるKLT(Kaneda-Lucas-Tomasi) Tracker[6]により得られた特徴点の移動方向をもとに，領域ごとの移動方向と人数を推定する[7]．本手法の処理の流れを図5に示す．まず，図5(a)に示す入力画像に対して背景差分を行った後に，特徴点としてコーナー点を検出する．次に，KLTを用いることで検出された特徴点を追跡する．対応付いた特徴点のみを抽出し，特徴点の移動量から移動方向を決定する．図5(b)では，左方向に移動している特徴点を緑，右方向に移動している特徴点を赤で示している．次に，ボロノイ分割を用いて各分割領域内に特徴点が一つ含まれる領域を図5(c)のように作成する．この領域に含まれる特徴点の移動方向をその領域の移動方向とし，移動方向が推定された前景領域を移動方向ごとに分割する．図5(d)に前景領域を移動方向ごとに分割した図を示す．その後，移動方向ごとの領域の面積により，

領域内に含まれる人数の推定を行う．

5. 実験

5.1 パラメータ推定実験

3章で説明したパラメータ推定の検証実験を行った．実験シーンを図6に示す．シーン1・2は，設置環境は同じだが，シーン1では歩行者が少なく，シーン2では集団で歩行者が往来する．また，シーン3は，屋外環境下での計測となっている．それぞれのシーンにおける，カメラの設置環境と推定結果を表1に示す．

表1より，おおむね正しいパラメータが推定できていることがわかる．しかし，シーン3においては，計測対象までの距離が遠いため，視差に誤差が生じ，パラメータの推定精度が低下した．

5.2 人流計測実験

シーン1, 2において，5.1節で求めたパラメータを用いて人流計測実験を行った．15[s]ごとに左右の移動方向ごとの歩行者の人数を出力した．真値は，動画内の歩行者を目視で計測した．結果を図7に示す．

図7より，それぞれの手法で，高い精度で人流が計測できていることがわかる．しかし，パーティクルフィルタによる人流計測手法では，追跡していた歩行者が画面外に出ると同時に別の歩行者が画面内に入ると誤追跡が発生してしまう．また，KLTとボロノイ分割による人流計測手法では，手先の特徴点を追跡した場合，歩行時の腕振りにより，歩行者の移動方向とは逆の方向へ前景領域が分割されてしまい，精度が低下した．

6. おわりに

本稿では，設置場所を限定せず，設置場所を移動してもシステムの調整を必要としないインスタント人流センサを提案した．インスタント人流センサでは，まず，ステレオカメラから得られる画像と視差画像を用いて，パラメータを自動で推定した．その後，混雑度合に応じて，パーティクルフィルタを用いた手法とKLTとボロノイ分割を用いた手法を用いて，人流計測を行った．

今後は，より実環境を想定し，人物と車を識別するアルゴリズムを構築，導入していく．また，様々な環境下で長時間の計測行い，実用性を検証していきたい．



(a) シーン 1



(b) シーン 2

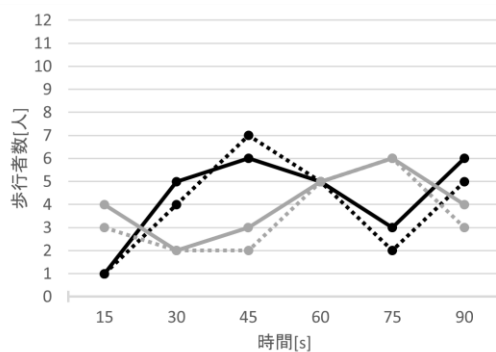


(c) シーン 3

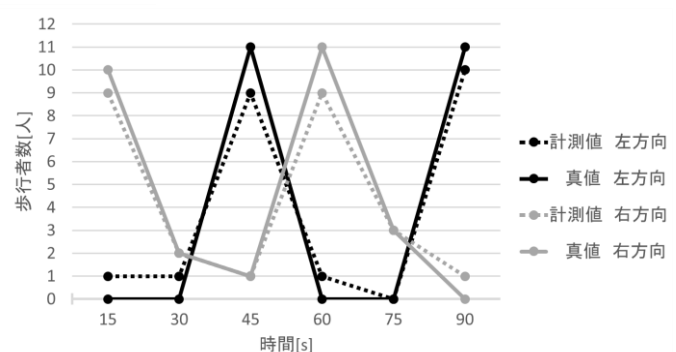
図 6 実験シーン

表 1 カメラの設置環境とパラメータ推定結果

	高さ [m]		θ_t (仰角)[$^{\circ}$]		θ_r [$^{\circ}$]		しきい値	人流計測手法
	真値	推定値	真値	推定値	真値	推定値		
シーン1	2.30	2.44	30	34.2	0	1.10	35	パーティクル
シーン 2	2.30	2.40	30	33.8	0	0.86	28	KLT&ボロノイ
シーン 3	8.30	7.84	50	45.2	0	3.15	22	パーティクル



(a) シーン 1 (パーティクルフィルタ)



(b) シーン 2 (KLT とボロノイ分割)

図 7 人流計測実験結果

参考文献

- [1] 中村 克行, 趙 卉, 柴崎 亮介, 坂本 圭司, 鋸 朋生, 鈴川 尚毅: “複数のレーザレンジスキャナを用いた歩行者トラッキングとその信頼性評価,” 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J88-D-II, No.7, pp.1143-1152, 2005.
- [2] Choi, W., Pantofaru, C., Savarese, S: “ Detecting and tracking people using an RGB-D camera via multiple detector fusion,” *ICCV Workshops*, pp.1076-1083, 2009.
- [3] Umeda, K., et al. : “Subtraction stereo - a stereo camera system that focuses on moving regions - ,” *Proc. of SPIE*, Vol.7239, pp.723908, 2009.
- [4] Ubukata, T., et al. : “ Multi-Object Segmentation in a Projection Plane Using Subtraction Stereo,” *Proceedings of 20th International Conference on Pattern Recognition*, 2010.
- [5] 川下 雄大, 柴田 雅聡, 増山 岳人, 梅田 和昇: “差分ステレオと進行方向を考慮したパーティクルフィルタによる人物追跡,” 第14回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集, 3K2-3, 2013.12.
- [6] Tomasi, C., Kanade, T. : “Detection and tracking of point features,” *Technical Report*, CMU-CS-91-132, 1991.
- [7] 柴田 雅聡, 生形 徹, 有江 誠, モロ アレサンドロ, 寺林 賢司, 梅田 和昇: “差分ステレオを用いた人流計測手法の屋外実環境における実証実験,” 日本機械学会論文集 C 編, Vol.79, No.800, pp.1036-1045, 2013.4.