

# 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

○生形 徹<sup>†</sup>, モロ アレサンドロ<sup>†</sup>, 有江 誠<sup>†</sup>,  
西本 龍弘<sup>††</sup>, 寺林 賢司<sup>†</sup>, 梅田 和昇<sup>†</sup>, 戸辺 義人<sup>††</sup>  
(<sup>†</sup> 中央大学 / JST CREST, <sup>††</sup> 東京電機大学 / JST CREST)

## Experimental Evaluation of the Method of Pedestrian Traffic Measurement Using Subtraction Stereo

○Toru UBUKATA<sup>†</sup>, Alessandro MORO<sup>†</sup>, Makoto ARIE<sup>†</sup>,  
Tatsuhiko NISHIMOTO<sup>††</sup>, Kenji TERABAYASHI<sup>†</sup>, Kazunori UMEDA<sup>†</sup>, and Yoshito TOBE<sup>††</sup>  
(<sup>†</sup> Chuo University / CREST, JST, <sup>††</sup> Tokyo Denki University / CREST, JST)

Abstract: In this paper, we report the result of experimental evaluation for method of pedestrian traffic measurement at the festival held in Tatebayashi, Gunma prefecture. To measure pedestrian traffics, which include the direction and the number of pedestrian, we have already proposed two types of measuring methods based on subtraction stereo. One is the tracking method using Kalman filter which is used in uncrowded scenes. The other is the method using KLT and Voronoi diagram, used in high dense scenes. Finally, we show the accuracy of proposed methods used in city environments.

### 1. 緒言

近年、交通網の混雑緩和や災害時の人々の誘導などを目的に、カメラやレーザレンジファインダなどのセンサを用いて街の人の流れ計測するシステムが期待されている[1][2]。我々は先行研究において、計測対象を移動物体に制限する差分ステレオ[3]と呼ばれる三次元計測手法を用いた歩行者検出・追跡手法を提案している。本稿では人流計測手法として、この差分ステレオを拡張し、追跡された人物の位置と速度から人数と移動方向を算出する手法と、KLT とボロノイ分割を用いて人数と移動方向を算出する手法を用いる。実環境での検証結果として、群馬県館林市で開催された第40回館林まつりにおいて、2ヶ所に設置されたステレオカメラで計測された人流計測結果を報告する。

### 2. 前景検出

#### 2.1 差分ステレオ

本研究では画像中の前景(移動体領域)を検出する手法として、差分ステレオを用いている。差分ステレオでは、まず左右カメラそれぞれで背景差分によって前景領域を抽出し、その後抽出された前景領域をマッチングすることで距離情報を得る。このように、マッチングする領域を背景差分で得られた前景領域に限定することで、マッチングの誤対応と処理時間を削減することができる。差分ステレオによって検出された前景領域を Fig.1(b) に青色で示す。

#### 2.2 影検出

差分ステレオによって検出された前景領域には、オブジェクトの影となる領域も含まれてしまう。そのため、前景領域を正確に検出するためには、影となる領域を除去する必要がある。

画像座標 $(x, y)$ における輝度値を $I(x, y)$ とし、背景画像における同位置の輝度値を $I'(x, y)$ とすると、影を判定する評価関数は次式で表わされる。

$$\theta_{(t+1, x, y)} = \begin{cases} \alpha \Psi_{(x, y)} + \beta \Lambda_{(x, y)} + (1 - \alpha - \beta) \theta_{(t, x, y)}, & \text{if } \frac{I(x, y)}{\eta} < I'_{(x, y)} \\ \infty, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $\theta$  は影と判断するためのスコアを表し、 $\theta$  が閾値以下となる画素を影と判断して前景領域から除去する。 $\Psi$  は前景の近傍画値と背景の近傍画素値の相違度を表し、 $\Lambda$  は前景の色相と背景の色相の相違度を表す。また、 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\eta$  はそれぞれの項に対して重みを与える定数である。

今回用いた影検出手法の詳細は文献[4]にて述べられており、その手法を用いて影検出を行った結果を Fig.1(c) に示す。図中において、影と認識された領域を緑色で表わし、前景領域から除去している。最終的に検出された前景領域を Fig.1(d) に示す。

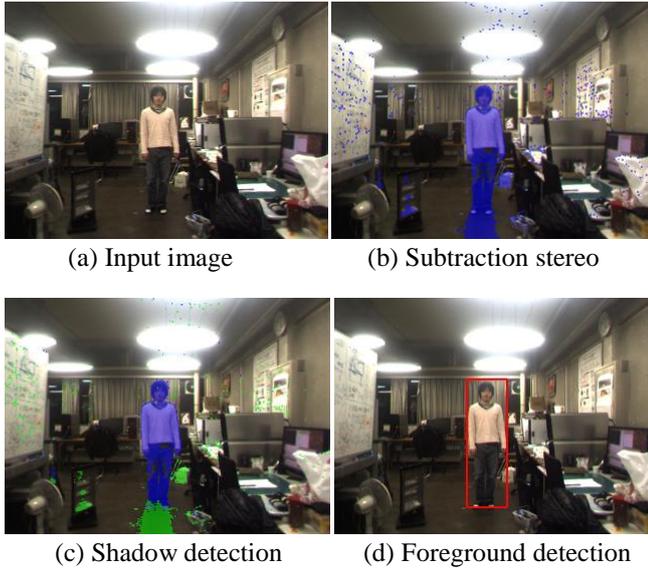


Fig.1 Flow of the foreground detection

### 3. 人流計測手法

実験環境によって画像中での人の映り方が異なるため、2種類の人の流れを計測する手法を環境に応じて選択する。一つは、カルマンフィルタを用いて観測した人物をトラッキングし、人の流れを計測する手法である。本手法は人物を個々、あるいは2~3人の集団の場合に使用する。もう一つはKLTにより得られた特徴点の移動方向をもとに、ボロノイ分割で領域の移動方向を推定し、人の流れと人数を計測する手法である。本手法は個々の人物や集団を切り分けることが困難な混雑した環境下において使用する。

#### 3.1 カルマンフィルタを用いた人流計測

人物の動きが等速直線運動であると仮定し、カルマンフィルタで用いる運動モデルとする。状態変数 $X$ は、カメラ座標系での人物の三次元位置 $(x, y, z)$ 、および速度 $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$ を用い、次式で表わされる。

$$X = [x \quad \dot{x} \quad y \quad \dot{y} \quad z \quad \dot{z}]^T \quad (2)$$

カルマンフィルタの状態方程式は次式で与えられる。

$$X_{i+1} = \Phi X_i + \Gamma_i \omega_i \quad (3)$$

$\Phi$  は状態遷移行列であり

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

で与えられる。 $\omega_i$ はプロセスノイズである。観測変数には、

$$Z = [u \quad v \quad d]^T \quad (5)$$

を用いる。 $u, v$ は画像上の座標、 $d$ は視差である。観測変数と状態変数の関係は次式で表わされる。

$$Z_i = f(X_i) + v_i, \quad f(X_i) = \begin{bmatrix} x_i \cdot f & y_i \cdot f & b \cdot f \\ z_i & z_i & z_i \end{bmatrix}^T \quad (6)$$

$f$ はカメラの焦点距離、 $b$ は基線長、 $v_i$ は観測ノイズである。これらの式からカルマンフィルタを更新し予測値を得る。

カルマンフィルタの予測値と、人物の観測値を対応づけることでトラッキングを行う。カルマンフィルタの予測値の集合を $K$ 、その要素を $k_i$ とし、観測値の集合を $M$ 、その要素を $m_j$ とする。 $i$ 番目の予測値から $j$ 番目の観測値までの三次元空間でのユークリッド距離 $D_E(k_i, m_j)$ を計算し、ユークリッド距離が閾値 $D_{th}$ 以内にあり、かつ最小のものを対応づける。

カルマンフィルタによりトラッキングした観測点が複数人物を含むことがあるため、各観測点(前景領域)に含まれる人の人数を推定する必要がある。前景領域内の人数の推定には、文献[5]で提案されている画像上での前景領域の面積とカメラから対象までの距離を用いて人数を推定する手法を用いる。

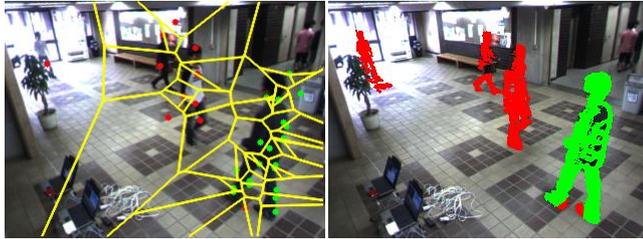
#### 3.2 KLT とボロノイ分割を用いた人流計測

本手法の処理の流れをFig.2に示す。まず取得した画像(Fig.2(a))に対して2章で述べた前景検出を行い、得られた前景領域に対して特徴点(コーナ一点)を抽出する。抽出された特徴点にKLTを適用することで、対応付いた特徴点から移動方向と移動量を算出する。左方向に移動している特徴点を緑色、右方向に移動している特徴点を赤色でFig.2(b)に示す。特徴点の移動量より人の移動速度範囲内のものを抽出し、ボロノイ分割を用いて各分割領域内に特徴点の一つ含まれるような領域を作成する(Fig.2(c))。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同様の配色でFig.2(d)に示す。

3.1節と同様に、移動方向ごとの前景領域に対して文献[5]で提案されている手法を用いることで、領域内の人数を推定している。



(a) Input image (b) Apply KLT



(c) Calculate Voronoi diagram (d) Show moving direction

Fig.2 Flow of the method using KLT and Voronoi diagram

#### 4. 屋外実環境における実証実験

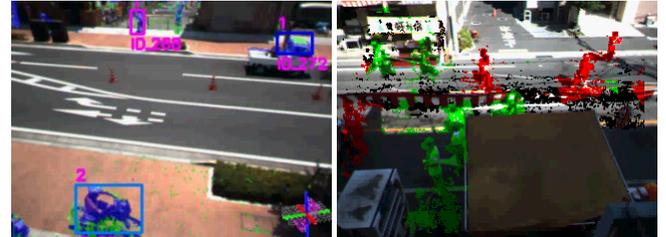
屋外実環境下において、歩行者の歩く方向と人数を計測することで人の流れを計測した。実験ではステレオカメラを群馬県館林市の2ヶ所に設置し、7月17日に同市で開催された第40回館林まつりでの参加者の流れを計測した。カメラの設置場所はお祭り会場付近にある薬局の2階とおもちゃ屋の2階の2ヶ所であり、Fig.3にその実験シーンを示す。薬局から撮影した環境では人通りが疎らなため、3.1節に示したカルマンフィルタを用いた人物トラッキング手法を用いた。一方おもちゃ屋から撮影した環境では人通りが多く混雑するため、3.2節に示したKLTとボロノイ分割による人流計測手法を用いた。各計測地点において、カメラに対して左右それぞれの方向に移動した人数を1分ごとにカウントし、15時20分から15時40分までの20分間の人の流れを計測した。実験時のステレオカメラはBumblebee2 (Point Grey Research, カラー,  $f=3.8\text{mm}$ ,  $b=120\text{mm}$ , VGA, 48fps)を使用した。処理にはCPUがIntel Core2 Duo (3.06 GHz), メモリは6GB RAMを搭載したノートPCを使用した。

薬局では手前と奥の歩道の歩行者を計測し、Fig.4(a)に示す矩形内の人物を追跡することで人数と移動方向を算出した。薬局での計測結果をFig.5に示す。Fig.5より、各方向に移動する人数の推移が大まかに計測出来ていることが分かる。トラッキングを利用して人数推定を行う場合、人が大きな集団で移動する様な場合にトラッキングが失敗し、精度低下の要因となる。また、上側を走る車が歩道側に映って誤検出してしまうことが多かった。Table 1に示す計測人数の絶対誤差において、右方向の誤差が大きい原因がこの為であると考えられる。



(a) Pharmacy (b) Toy shop

Fig.3 Experimental scene



(a) Pharmacy (b) Toy shop

Fig.4 Example image of experimental result

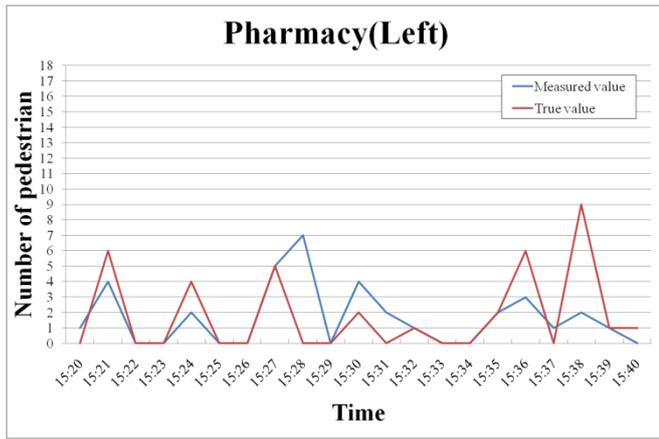
Table 1 Absolute error of estimated number of pedestrian

	Left	Right
Pharmacy	2.05	2.81
Toy shop	0.98	1.08

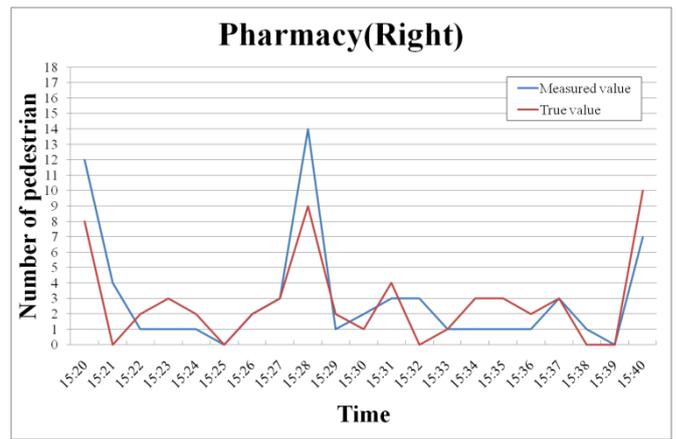
おもちゃ屋では車両が通行止めにされているため道路全体での歩行者を計測し、Fig.4(b)に示す様に集団内で左方向(緑色)と右方向(赤色)に移動している領域に分けて人数を推定した。おもちゃ屋での計測結果をFig.6に示す。Table 1より、おもちゃ屋における計測結果の方が薬局における計測結果より精度が高いことが見てとれる。これは計測結果がトラッキングの失敗に依存しないことが大きな要因であると考えられる。精度を落とす要因としては、計測環境の人数が多く、人物に生じるオクルージョン(重なりによる遮蔽)が頻繁に生じることが挙げられる。人数推定を行う手法[5]は画像上での人物の面積を利用しているため、オクルージョンは精度を落とす大きな要因であると考えられる。

#### 5. 結言

本稿では、屋外実環境下においてカルマンフィルタ、及びKLTとボロノイ分割による人流計測の実験結果を報告した。人の流れには、人が歩く方向と人数を指標として用い、真値との比較を行った。今後は、パーティクルフィルタの導入や、オクルージョンの推定を行うことで、より高精度に流れの方向と人数を算出する手法を検討する。

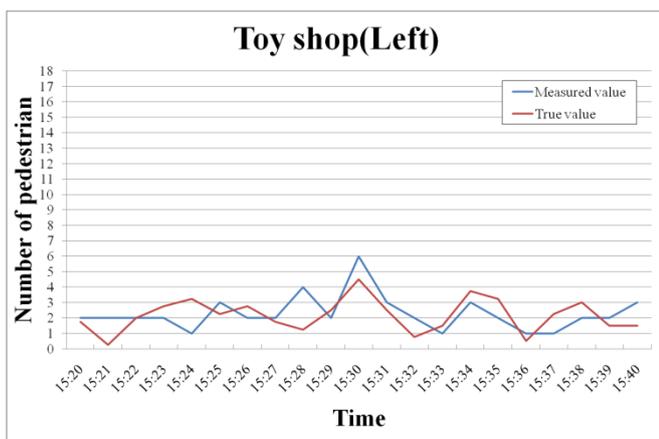


(a) Leftward movement



(b) Rightward movement

Fig.5 Experimental result at pharmacy (blue line: measured value, red line: true value)



(a) Leftward movement



(b) Rightward movement

Fig.6 Experimental result at toy shop (blue line: measured value, red line: true value)

## 謝辞

実験に協力頂いた群馬県館林市に感謝の意を表する。

## 参考文献

- [1] 中村克行, 趙卉菁, 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] Takahiro Iwata, Hideto Nishikado, Shigeru Takayama: “Evaluation of Pedestrians Flow by Time Transition of Traffic Line Density Distribution,” 2008 Proc. of SICE ANNUAL CONFERENCE, pp. 2090-2094, 2008.
- [3] Umeda, K., Hashimoto, Y., Nakanishi, T., Irie, K. and Terabayashi, K.: “Subtraction stereo – a stereo camera system that focuses on moving regions -,” Proc. of SPIE, Vol. 7239, 723908, 2009.
- [4] A. Moro, et al., “Auto-adaptive threshold and shadow detection approaches for pedestrians detection”, In Proc AWSVCI, pp. 9-12, 2009.
- [5] 寺林賢司, 中西達也, 橋本優希, 星川佑磨, 川田昂次, 梅田和昇: “差分ステレオによる多人数歩行者の運動計測”, 2009年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp. 185-186, 2009.