

# 差分ステレオを用いた実環境下における人流計測

星川佑磨 有江誠 生形徹 モロ アレサンドロ 寺林賢司 梅田和昇 (中央大 / JST CREST)  
 加々本貴志 戸辺義人 (東京電機大 / JST CREST)

## Pedestrian traffic measurement in city environment using subtraction stereo

\*Yuma HOSHIKAWA, Makoto ARIE, Toru UBUKATA, Moro ALESSANDRO,  
 Kenji TERABAYASHI, Kazunori UMEDA (Chuo Univ. / CREST, JST),  
 Takashi KAGAMOTO, Yoshito TOBE (Tokyo Denki Univ. / CREST, JST)

### Abstract—

We report the experimental results for measuring pedestrian traffics at the festival held in Tatebayashi, Gunma prefecture. As for the experimental results, we measured the direction and the number of people using subtraction stereo. In order to measure these information, we use two types of measuring methods. 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 densed scene.

**Key Words:** Stereo, Tracking, Counting pedestrian

## 1. 序論

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研究が盛んに行われている [1][2]。これらの研究では、人物の位置と速度から人数と方向を算出し、人の流れを計測している。我々は先行研究にて、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 [4]。本稿では、実環境下において [4] に示す人物トラッキング手法を用いて取得した人流データと、KLT [5] とボロノイ分割 [6] を用いた人流計測手法による人流データの二つの実験結果を報告する。

## 2. 差分ステレオ

差分ステレオ [3] では、まず左右の画像それぞれにおいて、背景差分により前景領域を抽出し、対応点探索の領域を前景に限定しマッチングを行うことで視差画像を得る。本手法で得られる視差画像から、検出物体の三次元座標と幅、高さを取得することが出来る。得られる視差画像の例を Fig.1 に示す。

## 3. 人流計測手法

人の流れは、混雑度合いによって大きく変化するため、本研究では二種類の人流れ計測方法を用いる。一つは、観測した人物をカルマンフィルタを用いてトラッキングし、人の流れを計測する手法である。本手法は人物を個々、あるいは集団である程度切り分けることができる場面において使用する。もう一つは、KLTにより得られた特徴点を用いてボロノイグラフを作成し、領域毎の移動方向と面積を利用して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。

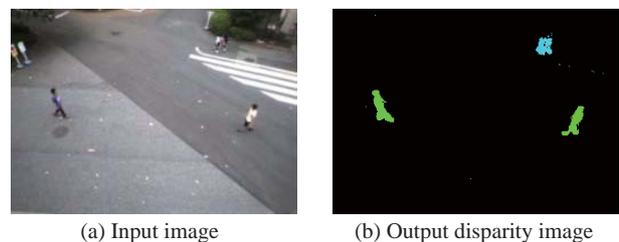


Fig.1 Result obtained by subtraction stereo

### 3.1 カルマンフィルタを用いた人物トラッキング

人物の動きが概ね等速直線運動であるモデルを立て、カルマンフィルタに与える運動モデルとする。状態変数  $\mathbf{X}$  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。

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x & \dot{x} & y & \dot{y} & z & \dot{z} \end{bmatrix}^T \quad (1)$$

カルマンフィルタの状態方程式は次式で与えられる。

$$\mathbf{X}_{i+1} = \Phi \mathbf{X}_i + \omega_i \quad (2)$$

$\Phi$  は状態遷移行列であり

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

で与える。 $\omega_i$  はプロセスノイズである。観測変数には、

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} u & v & d \end{bmatrix}^T \quad (4)$$

を用いる． $u, v$  は背景差分，ラベリングにより抽出した blob の重心点の画像座標， $d$  は同点における視差である．観測変数と状態変数の関係は次式で表わされる．

$$\mathbf{Z} = f(\mathbf{X}_i) + \mathbf{v}_i, \quad (5)$$

$$f(\mathbf{X}_i) = \begin{bmatrix} \frac{x_i \cdot f}{z_i} & \frac{y_i \cdot f}{z_i} & \frac{b \cdot f}{z_i} \end{bmatrix}^T.$$

$f$  はカメラの焦点距離， $b$  は基線長， $\mathbf{v}_i$  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する．

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．

抽出した blob に複数の人が含まれることがあるため，各 blob 内の人数をカウントする必要がある．blob 内の人数のカウントには，[4] 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カウントする手法を用いる．

### 3.2 KLT とボロノイ分割を用いた人流計測手法

本手法の流れを Fig.2 に示す．まず取得した画像 (a) から背景差分により前景領域を抽出する．抽出した前景領域に対して特徴点を抽出し，KLT を適用する．KLT を適用し対応付いた特徴点のみを抽出し (b)，この特徴点を用いてボロノイグラフを作成する (c)．(b) において赤い点が右向きの特徴点，緑の点が左向きの特徴点を表す．このボロノイ領域に含まれる特徴点の方向をその領域の移動方向とする．ボロノイグラフと前景領域が一致する領域のみを抽出し，この領域を人数の推定に用いる (d)．人数推定には，カルマンフィルタを用いたトラッキングと同様に [4] に示す手法を用いる．

## 4. 実環境下における人流計測

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 カ所に設置し，7 月 17 日と 18 日に同市で催された館林祭りの参加者の流れを計測した．カメラの設置場所は，飲食店の 2 階（実験環境 1），玩具屋の 2 階（実験環境 2）とし，人を斜め上から俯瞰する形でカメラを設置した．実験環境 1 における実験シーンを Fig.3 に，実験環境 2 における実験シーンを Fig.4 に示す．実験環境 1 では，手前と奥の歩道を歩く歩行者を計測し，実験環境 2 では道路を歩く歩行者全てを計測する．また，カメラを実験環境 1 では高さ 6.5[m]，tilt 角を 45[°] に，実験環境 2 では高さ 5.1[m]，tilt 角を 45[°] となるように設置した．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．

実験環境 1 では，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て，7 月 17 日の 18

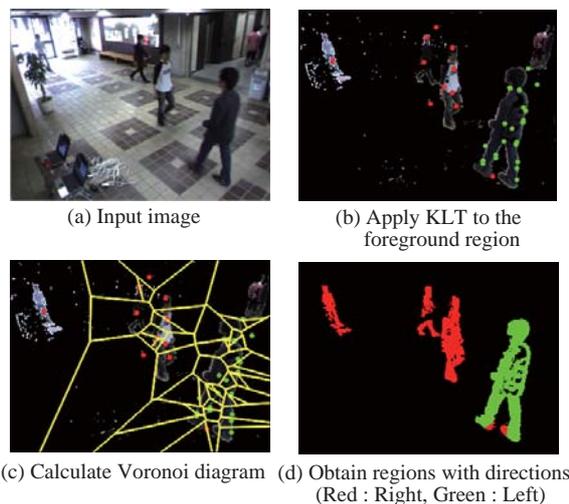


Fig.2 Flow of the method using KLT and Voronoi diagram



Fig.3 Experimental scene1



Fig.4 Experimental scene2

時 40 分から 19 時 3 分までの 23 分間人の流れを計測した．カメラに対して右へ歩いた人数と左へ歩いた人数を 1 分間カウントした結果をそれぞれ Fig.5，Fig.6 に示す．両結果より，各方向へ歩く人数の推移がだまかに計測出来ていることがわかる．しかし真値との差が大きい時間帯が多い．これは，追跡する人物に生じるオクルージョンや集団の切り分けが困難な際にカルマンフィルタと人物が誤対応を起こし，追跡が失敗したことが原因の一つである．また，用いた人数推定手法 [4] は，画像上での人物の面積を利用して人数を推定するため，人が集団で歩いている様なオクルージョン

が多く生じるシーンでは精度が低下し、人数に誤差が生じたことも原因の一つである。なお、18時51分から18時53分と18時55分から18時57分までの計測データが無いが、これは計測データをネットワーク経由で送信する際にデータに欠陥が生じたものである。

実験環境2では、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て、7月17日の17時から17時30分までの30分間人の流れを計測した。画像中で、右へ向かい歩く人と左へ向かい歩く人の平均人数を毎分算出した結果をそれぞれFig.7, Fig.8に示す。結果より、人数に誤差はあるが人数の推移の傾向を取得出来ていることがわかる。右に向かい歩く人の計測値が真値に対して全体的に低く、左に向かい歩く人の計測値は真値に対して全体的に高い値を示している。これは、実験シーンにおいて左に歩く人が画像手前に流れをつくり、右に歩く人が奥側に流れをつくる傾向があったためである。KLTを適用し抽出した特徴点で、画像上での移動量が1[pixel]以上のもののみを人流計測に用いているため、移動量が大きい特徴点が距離が近い左へ向かい歩く人に多く検出されたことが原因の一つである。また、人物同士がすれ違う場合にも左へ歩く人が手前になることが多かったため、右へ歩く人上に検出された特徴点が左へ歩く人上に誤対応を起こしたことも一つの原因である。

## 5. 結論

本稿では、実験環境下において差分ステレオを用いて人流計測を行った結果を報告した。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、個人・集団のトラッキングや特徴点追跡などの結果を複数組み合わせることで、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。

謝辞

実験にご協力頂いた群馬県館林市、ならびに実験環境をご提供いただいた店舗の皆様に感謝いたします。

参考文献

- [1] 中村克行, 趙奔菁, 柴崎亮介, 坂本圭司, 大鋸朋生, 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] T. Iwata, H. Nishikado, S. Takayama: “Evaluation of Pedestrians Flow by Time Transition of Traffic Line Density Distribution,” 2008 PROCEEDINGS OF SICE ANNUAL CONFERENCE, pp.2090-2094, 2008.
- [3] K. Umeda, Y. Hashimoto, T. Nakanishi, K. Irie and K. Terabayashi: “Subtraction stereo - a stereo camera system that focuses on moving regions -,” Proc. of SPIE, Vol.7239, 7239-33, 2009.
- [4] 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.
- [5] C. Tomasi and T. Kanade: “Detection and tracking of point features,” Technical Report CMU-CS-91-132, 1991.
- [6] F. Aurenhammer: “Voronoi Diagrams - A Survey of a Fundamental Geometric Data Structure,” ACM Computing Surveys, 23 (1991), 345-405, 1991.

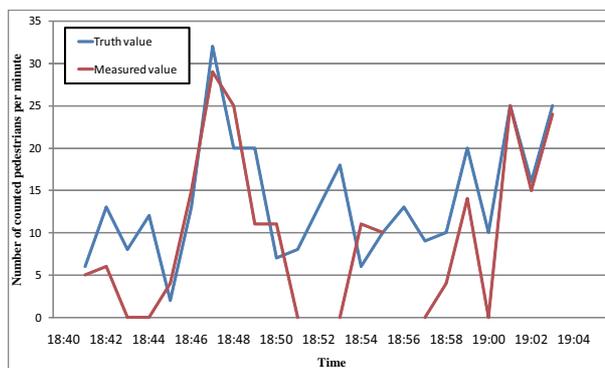


Fig.5 Experimental result (Number of pedestrians walking to the right in the restaurant scene)

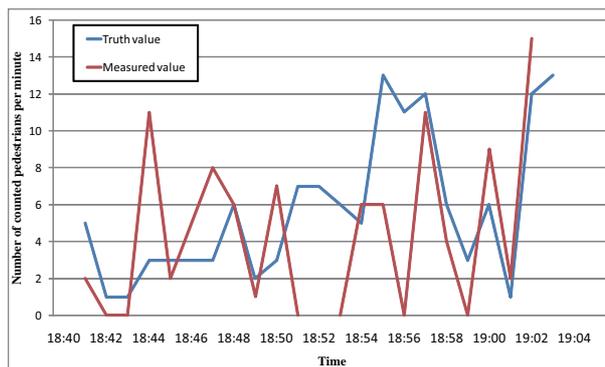


Fig.6 Experimental result (Number of pedestrians walking to the left in the restaurant scene)

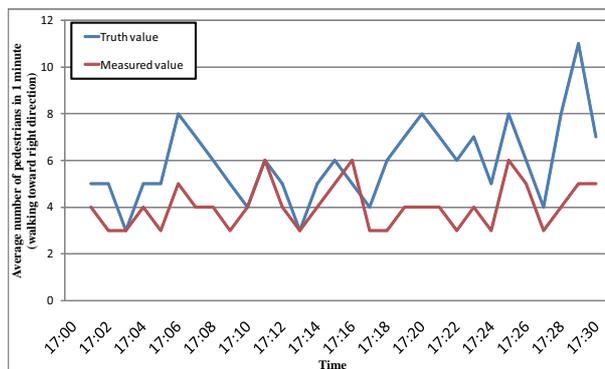


Fig.7 Experimental result (Number of pedestrians walking to the right in the toy shop scene)

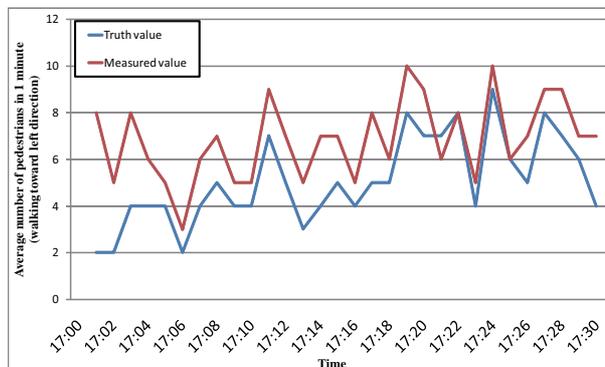


Fig.8 Experimental result (Number of pedestrians walking to the left in the toy shop scene)