

## (60) スマートフォン端末を用いた歩行者通行量計測

福島 佑樹<sup>1</sup>・関本 義秀<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 東京大学特任研究員 空間情報科学研究センター (〒277-8568 千葉県柏市柏の葉5-1-5)

E-mail:yfukus@csis.u-tokyo.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 東京大学准教授 生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

E-mail:sekimoto@iis.u-tokyo.ac.jp

人々の動きを把握することは、様々な分野に利用可能であり、ニーズが高い。個人の動きを把握する手法としてスマートフォン端末を用いてデットレコニング法、Wi-Fi・Bluetoothを用いた手法とGPSを用いた手法などが提案されているが、対象者にアプリケーションのインストールなどの操作を行ってもらう必要があり、全数を把握することは困難である。また、人々の動きを把握するための通行量調査は、従来より数取器と呼ばれるカウンターを用いて人手で行ってきた。人手による計測は、精度が高い反面計測する地点ごとに計測員を配置しなければならず、コストが高く頻繁には行えない。

そこで、本研究では、スマートフォン端末のカメラから得られる画像を用いて、簡易に少人数かつ広範囲の通行量を調査する手法を提案する。

**Key Words:** image processing, pedestrian traffic, people flow, smartphone

### 1. はじめに

人々の動きを把握することは、防災・減災やマーケティングなど様々な分野に利用可能であり、ニーズが高まっている。特に街中における人々の通行量は、都市計画や回遊行動の解析などにも用いられ、必要不可欠な情報となっている。また、人々の動きは、移動範囲内の環境変化に伴って刻一刻と変化するものであるため、現在の環境に即したデータが求められる。

街中における人々の通行量計測は、従来より数取器と呼ばれるカウンターを用いて人手で行ってきた。人手による計測は、精度が高い反面計測する地点ごとに計測員を配置しなければならず、コストが高く頻繁には行えない。また、ビデオカメラやレーダーなどの設置型センサを用いた通行量計測に関する研究<sup>1)2)</sup>も行われているが、設置箇所や設置方法が限定されているという課題がある。このように、カウンターや設置型センサを用いた従来の手法では、広範囲かつリアルタイムなデータを得ることができない。そこで、近年では、普及率が高く多種多様なセンサが搭載されているスマートフォン端末を用いて人々の動きをリアルタイムで解析する研究が行われている。スマートフォン端末を用いた歩行者の移動推定は、デットレコニング法、Wi-Fi・Bluetoothを用いた手法とGPSを用いた手法に大別される。しかし、これらの手法

では、誤差が大きいという問題や歩行者に操作を強いる必要があるという問題があり、全数を把握することは困難である。

そこで、本研究では、スマートフォン端末を用いて歩行者通行量を計測することで、少人数かつ広範囲において、簡易にリアルタイムな人の動きを把握可能とするシステムを提案する。

### 2. 研究の概要

本研究では、スマートフォン端末のカメラから得られる画像を順次処理し、歩行者の通行人数をリアルタイムで計測する。また、計測した通行人数から人の流れを推定する。本研究の概要図を図-1に示す。

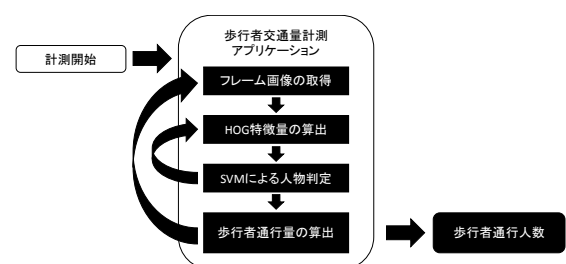


図-1 研究の概要図

スマートフォン端末を用いた歩行者通行量の計測システムは、歩道を撮影したカメラ画像を順次取得し、各フレームにおいて Histogram of Oriented Gradients (HOG) 特徴量<sup>3)</sup>の計算および Support Vector Machine (SVM) による2値分類を行い人物の抽出を行う。また、直近の過去5フレームの人物抽出結果を結合し、個別の歩行者として判定する。

### 3. 歩行者通行量の計測

#### (1) 前提条件

本研究では、スマートフォン端末のカメラ画像を用いて歩道上の歩行者数をリアルタイムで計測することを目的としている。また、スマートフォン端末は、計測員が手で持って計測する。そのため、歩行者数を計測する手法は、以下の条件を満たす必要がある。

- (a) スマートフォン端末でリアルタイムに計測が可能なこと
- (b) 明るさなどの環境の変化に大きく影響を受けないこと
- (c) 手振れが発生しても大きく影響を受けないこと

スマートフォン端末の計算処理速度は、一般的なパーソナルコンピュータに比べると劣っている。そのため、スマートフォン端末でリアルタイムに処理が可能な手法を採用する必要がある。また、本研究で提案するスマートフォンアプリケーションは、野外で固定せずに手持ちでの使用を想定しているため、影などの環境の変化の影響および手振れの影響を受けない手法を検討する必要がある。

#### (2) 特徴量の選定

本研究では、特徴量として HOG を用いる。HOG は、局所領域であるセルに対して輝度の勾配ヒストグラムを作成し、セルの集まりであるブロックごとにヒストグラムを正規化し、特徴量とする手法である。画像の座標 $(x, y)$ における輝度値を  $I$  としたとき、勾配強度  $m$  と勾配方向  $\theta$  を次式(1a)で算出する。

$$\begin{aligned} f_x(x, y) &= I(x+1, y) - I(x-1, y) \\ f_y(x, y) &= I(x, y+1) - I(x, y-1) \end{aligned}$$

$$m(x, y) = \sqrt{f_x(x, y)^2 + f_y(x, y)^2}$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \frac{f_y(x, y)}{f_x(x, y)} \quad (1a)$$

式(1a)で算出した勾配強度  $m$  と勾配方向  $\theta$  を用いてセルごとに勾配方向ヒストグラムを生成する。そして、セルのヒストグラムをブロック単位で L2-Norm を用いて正規化する。

以上のように HOG 特徴量は、勾配方向ヒストグラムをブロック単位で正規化するため、明るさなどの変化に頑健である。また、計算速度については、セル、ブロックのサイズや勾配方向ヒストグラムの勾配方向数を変化させることで調整可能である。このように条件 (a), (b) を満たすことから、本研究では特徴量として HOG を用いた。

#### (3) 人物領域の検出

本研究では、人物領域を検出するための識別器として SVM を用いる。特徴量として選定した HOG は、非常に次元数が多い。HOG の次元数  $dim$  は、画像の幅を  $W$ 、画像の高さを  $H$ 、セルサイズを  $S$ 、ブロックサイズを  $B$ 、勾配方向数を  $O$  とした場合次式(1b)で表される。

$$dim = \left(\frac{W}{S} - B + 1\right) \cdot \left(\frac{H}{S} - B + 1\right) \cdot B^2 \cdot O \quad (1b)$$

式(1b)より、 $50 \times 50$  の画像において、セルサイズを 5、ブロックサイズを 3、勾配方向数を 9 とした場合の次元数は、5184 となる。このように HOG 特徴量は次元数が多い。そのため、本研究では、次元数の大きい特徴に対して識別精度の高い SVM を用いた。ただし、人物領域を検出する場合、識別回数が非常に多く計算時間がかかる。これは、画像中の人物位置及び大きさが未知であるためである。そこで、本研究では、リアルタイム計測を可能とするため、撮影方法を指定することで人物領域を既知のものとし、高速化を図った。具体的には、計測時にスマートフォン端末の画面に補助線を横方向に2本表示し、その補助線の間に人が収まるように撮影を指定することで、人物の大きさを固定した。

#### (4) 歩行者通行量の算出

HOG 特徴量と SVM を用いて検出されるのは、フレームごとの人物領域である。そのため、歩行者通行量を算出するためには、同一人物の特定を行う必要がある。しかし、スマートフォン端末でリアルタイム計測を実現するためには、計算コストの高い計算は行えない。そこで、本研究では、フレームごとに検出された人物領域を単純

に連結することで歩行者の検出を行った。具体的には、以下の手順で歩行者通行量の算出を行った。なお、 $T_n$ 、 $T_d$ 、 $T_v$ は算出に用いる閾値である。

- $T_n$  フレーム前から現フレームまで近傍（距離が  $T_d$  以下）の人物領域を順次連結する。ただし、同方向に移動する領域のみを対象とする。
- $T_n$  フレーム間全てで結合された人物領域の移動量の平均  $V$  を算出する。
- $|V|$  が  $T_v$  以下の場合は、ノイズとして除去する。
- $V$  が正数の場合は右移動の歩行者とし、負数の場合は左方向の歩行者としてカウントする。
- 結合された人物領域を除去する。

本研究では、スマートフォン端末を用いてリアルタイム計測を実現するため、簡易的に上記の手順で歩行者をカウントした。しかし、HOG 特徴量による人物領域の検出が必ずしも正しいとは限らず、人物でない場所を人物領域として検出することや、人物を検出できないことがある。人物でない場所は、基本的に毎フレーム同じ場所を検出するか、あるフレームだけ一時的に検出するかである場合が多い。これらのノイズは、上記算出手順 (b), (c)において除去される。

## 4. 実証実験

本研究で提案した歩行者通行量計測システムと人物流動の推定精度を検証するため、実際にシステムを用いて実験を行った。

### (1) 実験環境

本実証実験における実施箇所を図-2から図-6に示し、実験環境を表-1に示す。実験場所を新橋虎ノ門地区とした理由は、現在 2020 年東京五輪開催を見据えた再開発が行われており、今後人の流れが大きく変化する可能性が高いためである。また、計測する時間帯は、通勤などの目的で歩行者の多い8時~10時を対象とした。

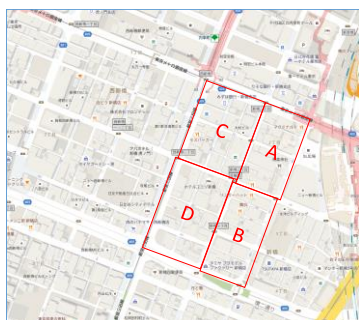


図-2 実証実験実施地域



図-3 A地区の計測地点



図-4 B地区の計測地点



図-5 C地区の計測地点



図-6 D地区の計測地点

表-1 実験環境

| 項 目      |        | 詳 細                                                    |
|----------|--------|--------------------------------------------------------|
| 日 時      |        | 2016年6月14日(火)8時～10時                                    |
| 場 所      |        | 東京都港区新橋<br>JR新橋駅 駅西付近                                  |
| 使用<br>端末 | 名 称    | Motorola Moto G 4G                                     |
|          | OS     | Android 4.4                                            |
|          | CPU    | Qualcomm Snapdragon 400 processor<br>1.2 GHz quad-core |
|          | Memory | 1GB                                                    |
|          | Camera | 1280 x 720                                             |
| 処理速度(平均) |        | 178ms/Frame                                            |

## (2) 歩行者通行量計測実験

歩行者通行量の計測は、4名がそれぞれの計測地区において、計測地点で5分間計測を行い、計測終了後に別の計測地点を順次移動して計測することで行った。この1から8の計測地点をそれぞれ2度計測したデータを本実験の計測結果とした。また、別のカメラで計測中の状況を撮影した動画から人手で歩行者人数を数えた値を真値とした。本研究のシステムを用いた実証実験の様子を図-7に示し、計測結果と真値との比較結果を表-2に示す。表-2より、地点A1, B6, C4, C8など一部計測箇所については、高精度な結果となっているが、B1, B4やB5などでは精度が低くなった。精度が低い原因として、撮影方法の問題が挙げられる。真値計測のために撮影した動画を確認したところ、人が小さく撮影され、人物領域の抽出が十分に行えていなかった。また、B5においては、左右の手振れが高頻度で発生していた。左右の手振れが大きく起こった場合、人物以外の領域を人物領域として抽出された箇所が歩行者として認識されてしまう場合がある。これらの問題は、撮影方法を改善することで解決すると考えられるが、今後、人物が十分に大きく撮影できない地点での撮影や、手振れが大きい場合の対策などが必要である。



図-7 システムを用いた実証実験の様子

表-2 真値とシステムによる計測結果の比較

| 地点 | 開始時刻    | 真値<br>(人) |     | システム<br>(人) |     | 誤差率<br>(%) |        |
|----|---------|-----------|-----|-------------|-----|------------|--------|
|    |         | 左         | 右   | 左           | 右   | 左          | 右      |
| A1 | 8:08:10 | 11        | 175 | 7           | 158 | -36.36     | -9.714 |
| B1 | 8:12:01 | 10        | 144 | 12          | 229 | 20.00      | 59.03  |
| B1 | 9:17:05 | 15        | 89  | 10          | 125 | -33.33     | 40.45  |
| B2 | 8:20:02 | 29        | 4   | 48          | 6   | 65.52      | 50.00  |
| B2 | 9:24:48 | 20        | 6   | 13          | 8   | -35.00     | 33.33  |
| B4 | 8:38:58 | 135       | 0   | 56          | 3   | -58.52     | -      |
| B4 | 9:38:43 | 46        | 2   | 14          | 2   | -69.50     | 0      |
| B5 | 8:46:05 | 141       | 1   | 239         | 3   | 69.50      | 200.0  |
| B6 | 8:52:24 | 0         | 19  | 1           | 18  | -          | -5.263 |
| C4 | 8:24:19 | 120       | 13  | 102         | 14  | -15.00     | 7.692  |
| C6 | 9:47:54 | 10        | 0   | 8           | 9   | -20.00     | -      |
| C8 | 9:53:50 | 70        | 22  | 65          | 23  | -7.143     | 4.545  |
| D3 | 9:29:38 | 3         | 3   | 6           | 15  | 100.0      | 400.0  |
| D4 | 9:36:28 | 10        | 22  | 10          | 38  | 0          | 72.73  |
| D6 | 8:55:30 | 15        | 4   | 30          | 8   | 100.0      | 100.0  |
| D7 | 9:01:17 | 0         | 28  | 3           | 34  | -          | 69.59  |

## 5. 結論

本研究では、簡易かつリアルタイムに歩行者の通行量を計測することを目的として、固定せずに手で持った状態のスマートフォン端末から通行量を計測する手法を示した。実証実験の結果、一部の計測箇所では精度良く歩行者通行量を計測できたが、人の動きが複雑な計測箇所や撮影方法によっては誤差が大きくなった。これは、計測地点を変更することで対応可能である。これにより、本研究のシステムを用いれば、少人数であっても広範囲の人々の動きを推定することが可能であることを明らかにした。しかし、スマートフォン端末を用いた歩行者通行量の計測に誤差がある点や、歩行者の全身が入るように撮影しなければならないため歩道から離れて撮影する必要があるなどの撮影方法の課題がある。今後は、これらの課題を解決し、精度のよい歩行者人数の計測を目指す。

## 参考文献

- 1) J. Zhang, L. L. Presti, and S. Sclaroff: Online multi-person tracking by tracker hierarchy, *Proc. of the IEEE International Conf. on AVSS*, pp.379–385, 2012.
- 2) M. D. Breitenstein, F. Reichlin, B. Leibe, E. Koller-Meier, and L. V. Gool: Online multiperson tracking-by-detection from a single, uncalibrated camera, *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.33, No.9, pp.1820–1833, 2011.
- 3) N.Dalal and B.Triggs: Histograms of Oriented Gradients for Human Detection, *Proc. of the IEEE CVPR*, Vol.1, pp.886-893, 2005.