

動的群集密度のリアルタイム推定に関する基礎検討

A basic examination for real-time estimating of dynamic crowd density.

高野光雄† 小林研司† 三田地成幸†
Mitsuo Takano Kenji Kobayashi Seiko Mitachi

1. 背景と目的

商店や各種イベント会場などにおける事故の発生を警戒・防止する業務を雑踏警備と呼ぶ。大勢の人が混雑する祭りやイベント会場、新店舗オープン会場等では限られた場所に不特定多数の人や車の集中と混雑が発生する。雑踏警備の業務は、訪問人の適切な交通誘導、入退場整理を行い、雑踏に伴う事故や混乱を防ぐことである。近年、発生した事故を表1に示す。

兵庫県の明石祭り(花火大会)事故の調査報告[1]の例では、事故現場の歩道橋がボトルネックになることは予想可能であったにもかかわらず、事前の対応策を用意していなかったことに問題があり、歩道橋への流入を制限することで事故を防止できたと主張している。当時の各種データから歩道橋の滞留人数を算出し、流入制限のタイミングについても述べている。

表1 事故例

日時(曜日)	時間帯	国(地名)	内容	死・不明	負傷
1999/12/4(土)	夜	オーストリア (インスブルック)	スポーツ競技会が行われたスタジアムで、終了後に観客が会場を出る際に発生。	5	25
2001/7/21(土)	夕	日本 (明石)	夏祭りの花火大会会場と最寄り駅を結ぶ橋上。	11	247
2004/2/5(木)	夜	中華人民共和国 (北京)	祭の会場近くを流れる河にかかる橋。	37	15

人数が時間を追って増える状況を知ることは、規制を行うタイミングを判断するために重要である。このタイミングは混雑がひどくなってからでは、群集の反発もあり難しい。人数変化を一定時間にわたって追跡することで、客観的かつ効果的なタイミングを得ることができると思われる。事故発生直後の臨機応変な対応は困難であると考えなければいけないと提言していることから、事故の芽を事前に摘み取る対策をタイミングよく実施することが重要である。

今回我々は、リアルタイムに混雑状況を把握し雑踏警備に寄与することを目的とした技術について基礎検討を行ったので報告する。要素技術を検討するにあたって、個々の人間に注視して人数を数えるのではなく、群集としての性質の特徴化に努めた。また、厳密性の追求を目的とせず、実用性を損なわない程度にできるだけ単純化し、必要な条件を確定することを目的とした。

2 検討事項

2.1 群集密度を表す特徴量

現場の混雑状況を撮影した画像中に、群集の面積が占める割合を群集密度の特徴量とする。群集と背景を分ける2値化操作を画像に対して行う。2値化の方法は判別分析法[2]を用いる。この方法は、濃度 t で2つのグループに分けたとき、グループ間の分散が最大となる濃度 t_{\max} を閾値とするというものである。この操作は背景を表す画素群と群

集を表す画素群を分ける濃度の推定を目的としている。画像全体に用いると適切に動作しないため、領域を限定して閾値を推定し、これを画像全体の閾値として用いた。

画像は撮影された角度 θ に応じて、図のように見かけ上の歪みを生じる。P をカメラの位置としたとき、地面に垂直な OA は AA' となり、水平な OB は BB' となる。このことから、群集の面積は \cos 倍、画像全体の面積は \sin 倍となって写ることになる。したがって、画像全体の画素数を m 、群集に相当する画素の数を n とすれば、特徴量は

$$\frac{n}{m} \tan \theta \text{ となる。}$$

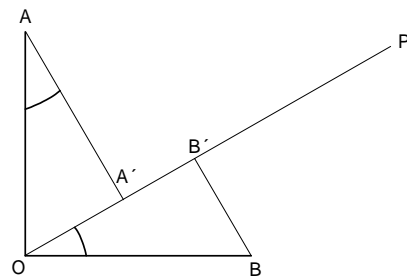


図1 撮影角度による画像の歪み

2.2 実際の群集密度

実際の群集密度は、実際の人数と対象領域の面積から求める。実際の人数は画像に写っている人の数を目視により数えた。人が重なっている場合は頭部の数を数えた。対象領域の面積は、画像内の物体から縮尺の基準を定めて推定した。

2.3 群集の移動方向推定

群集の移動方向検出はテンプレートマッチングを利用する。固定カメラにより撮影した隣接時刻のサンプリング画像のうち、新しい画像内の局所部分(位置 s_x, s_y 、サイズ $m \times n$)をテンプレートに定め、古い画像内で上下左右に移動し不一致度を計算する。古い画像内で不一致度の低い位置から、新しい画像内の局所領域の位置へ物体が移動したと推定できる。古い画像内の位置を (i, j) 、移動量を a とすれば、不一致度行列 R を $a \times a$ の行列として次式で計算する。

$$R(i, j) = \sum_{l=0}^{m-1} \sum_{k=0}^{n-1} |f(i+l, j+k) - t(l, k)|$$

$$s_x - a \leq i \leq s_x + a - 1, \quad s_y - a \leq j \leq s_y + a - 1$$

3. 実験の概要

家庭用ビデオカメラを三脚に固定して、表2に示す撮影条件で撮影した。各場所における撮影した映像の例を図1~図5に示す。

†東京工科大学, Tokyo University of Technology

表 2

場所	時刻	カメラに対する仰角(°)	対象面積(m ²)	最小人数	最大人数
八王子駅前交差点	19:00	10	150	13	37
八王子みなみ野駅	10:00	50	9	1	13
八王子駅構内	9:30	30	16	2	9
渋谷駅前交差点	11:00	20	180	6	75
渋谷駅構内	10:00	35	60	2	42



図 2 八王子駅前交差点



図 3 八王子駅構内



図 4 八王子みなみ野駅



図 5 渋谷駅構内



図 6 渋谷駅前交差点

各映像から、ビデオキャプチャボードを装着したパソコンを用いて静止画像を 1 秒毎に 20 枚抽出した。対象範囲は、人間による背景の遮断が可能な領域に限定した。

1. 画像毎に群集密度の特徴量と実際の群集密度を算出した。
2. 隣接時刻の画像同士の対応位置を上下左右に移動させて不一致度を求めた。

4. 結果

図 7 に群集密度の特徴量と実際の群集密度の時系列変化を示す。いずれの撮影場所においても強い相関がある。場所毎の結果から求めた近似式は 2 次曲線となった。

移動方向検出を目的として、画像同士の対応位置を移動させて得た不一致度の強度を、白黒階調で置き換えたものを図 8 に示す。白に近いほど不一致度が高く、画像同士に類似性が低いことを示している。図の中央は移動量ゼロである。図 8 は元画像内の左から中央へ移動してくる移動体の存在を示している。

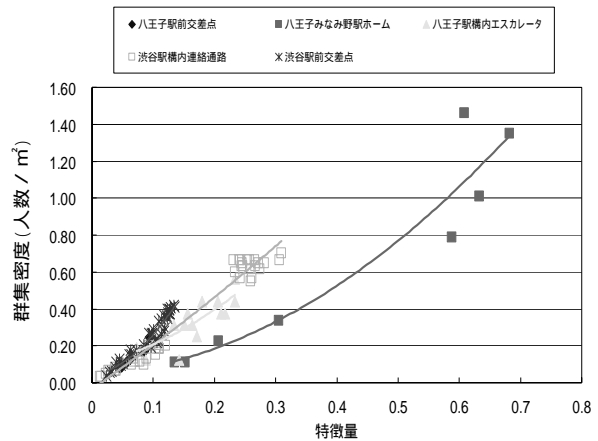


図 7 群集密度の特徴量と実際の群集密度



図 8 移動体の検出

5. 考察

群集密度の推定式が 2 次曲線となったのは、混雑するにつれて人が重なり合うために、2 値化の際に群集面積として反映されにくくなるためと考えられる。また、測定場所が異なると、群集密度が同一でも特徴量が異なっている。これは抽出画像に含まれる背景部分のうち、群集が存在し得ない部分の割合が異なっているためと考えられる。群集密度の特徴量は、混雑時に背景がすべて群集に埋め尽くされる条件の下では、混雑につれて 1 に近づくと考えられる。ビデオから画像を抽出する際に、この点の考慮が十分でなかったと考えられる。その他、誤差の原因と考えられるものとして、背景色に類似した人間の服の色が挙げられる。

6. 結論

雑踏警備における人員の効果的配置と即時対応に寄与することを目的として、群集密度の推定について基礎検討を行った。場所毎には、実際の群集密度と群集密度の特徴量には強い相関があり、群集の増減を掌握するためには十分であると考えられる。群集密度の推定に正確さを求めるならば、場所ごとに異なる群集密度の推定式を用いる必要があるが、対象範囲を慎重に決定することで、推定式を統一する余地もあると考えられる。

今回の検討した事項は適用範囲を確定すれば実用的な要素技術と考えられ、システムとして構築することが可能と考えられる。今後は、季節、天候などの自然条件による違いや、イベントの種類や施設の違いなどに関する実施例を増やして適用可能な条件を確定する。合わせて精度向上を目的とした検討や今回十分に検討できなかった移動速度の推定についても行う。

参考文献

- [1] 明石市民夏まつり事故調査委員会：第 32 回明石市民夏まつりにおける花火大会事故調査報告書 (2002)
- [2] 南敏，中村納：画像工学，コロナ社 (1989)