

動き画像を用いた エスカレータ乗客転倒検出手法

藤原 秀人 谷口 博康 黒田 伸一

三菱電機(株) 産業システム研究所

エスカレータ降り口で乗客が転倒すると、後続の乗客が巻き込まれ、将棋倒しの危険にさらされる。本稿では、エスカレータの安全性向上のために開発した乗客転倒検出手法について報告する。本手法は、以下の2ステップから成っている。(1) 空間-時間軸からなる入力時系列画像を、方向-時間からなる2次元の動き画像に変換し、(2) その動き画像から局所的な傾き方向を抽出し、それを解析することによって転倒時に発生する動きや速度の乱れを検出する。また、本稿ではいくつかの実画像で評価した結果についても示す。

A Method for Detecting Persons falling down on Escalator Using a Motion image

Hideto Fujiwara, Hiroyasu Taniguchi, Shin-ichi Kuroda,

Industrial Electronics and Systems Laboratory,

Mitsubishi Electric Corporation

8-1-1, Tsukaguchi Honmachi, Amagasaki, Hyougo 661, Japan

If someone should be fell down at exit of escalator, following other persons are in danger of a fall like dominoes. In this paper, we propose a method for detecting persons falling down in order to improve the safety of escalator. It consists of following two steps. (1) We transform from input image sequence to 2-D plane consists of directional-temporal axis (motion image). (2) We detect a disorder of motion and velocity by extracting a local direction from the motion image, and by analyzing the extracted direction. And we show experimental results with real images.

1. はじめに

エスカレータの安全性向上を目的として、乗客の動態をリアルタイムで把握する技術が望まれている。特に、エスカレータの混雑時の降り口付近で乗客が転倒すると、後続の乗客が出口を塞がれ、滞留・転倒等により大事故となる場合がある。

この場合、乗客の動態を常時監視して、降り口での転倒や異常混雑を早期に検出することができれば、エスカレータの停止や通報によって被害の拡大を防止でき、安全性の向上が図れる。

そこで、著者らはエスカレータの降り口付近天井部にITVカメラを設置し、画像処理技術によって乗客の転倒をリアルタイムで自動検出する手法について検討を行った。

エスカレータの乗客の動きは定常流状態（非転倒状態）に於いてはその動きや速度に規則性があり、非定常流状態（転倒状態）に於いてはそれらに何らかの乱れが生ずると考えられるので、

- ・俯瞰撮影した画像から乗客の流れを観測し、
- ・乗客が転倒することによって生ずる、流れの乱れを検出する。

という手順で乗客の転倒を検出する。

本報告では、乗客の流れを観測するために用いた動き画像と、それを解析して乱れを検出し、乗客の将棋倒し状態を判定する手法について述べる。

2. 乗客の流れの観測

入力時系列画像から対象物の動きを捉えるために、静止画から対象を抽出し、フレーム間で対応付けを行う手法や、オプティカルフローを計算する手法^[1]等様々な手法が提案されている。

しかしながら、エスカレータの乗客転倒検出においては、

- ・対象（乗客）が非剛性体である
- ・対象の濃度が種々雑多である
- ・オクルージョンがある

等の問題があるため、これらの手法の適用は困難である。

一方、エスカレータの乗客転倒検出には、上記のような問題を複雑にする要因とは逆に、

- ・対象の動きの経路がほぼ一定である
- という、問題を容易にする要因も含んでいる。

このように、対象の動きの経路がほぼ一定している場合に、複雑な処理を伴う形状認識を行わずに対象の動きを入力時系列画像から直接抽出する手法としてDTT法^[2] (Directional Temporal-plane Transform method)が提案されている。

著者らは、乗客転倒検出の第1ステップである乗客の流れの観測にこのDTT法を用いた。

2.1 DTT法の概要

DTT法とは、時間-空間軸から成る入力三次元画像を方向-時間軸から成る二次元画像（動き画像）に変換する事によって、対象の動きを連続した帯領域に投影する手法であり（図1）、この帯領域が対象の動きに関する時刻変化を表現していることから、

- 帯領域の傾きから対象の速度（の変化）や動き（の変化）が、
- 帯領域の本数から対象の数が、
- 帯領域間の距離から対象間距離がそれぞれ観測できる。

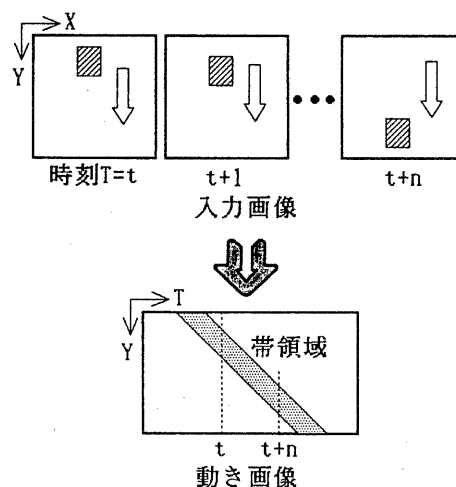


図1 DTT法による動き画像

D T T法による動き画像生成プロセスを図2に示す。入力画像から対象のエッジ等の特徴量を抽出し、それを対象の移動方向と平行な軸（方向軸）へ射影することによって一次元画像に圧縮し、それを時系列にならべる事によって動き画像とする。

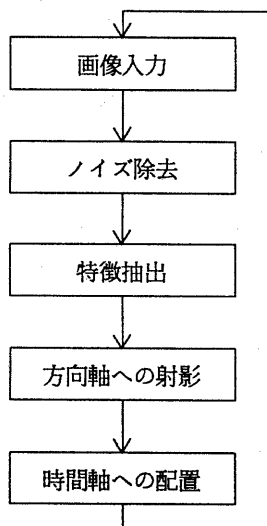


図2 D T T法による動き画像生成プロセス

2.2 乗客転倒検出への適用

動き画像をエスカレータ乗客転倒検出に適用するに当たり、下記の2種類の領域を設定し、それらの領域から個別に動き画像を生成した。

領域Ⅰ：エスカレータステップ上

特徴量として水平エッジを抽出
Y軸に平行な方向軸

領域Ⅱ：エスカレータ降り口付近

特徴量として垂直エッジを抽出
X軸に平行な方向軸

領域Ⅰは乗客の密度や、転倒者が発生した場合に後続の状況がどうなっているかを判定する為の領域であり、領域Ⅱは実際に降り口付近で乗客が転倒したか否かを判定する為の領域である。

本手法の有効性を確認するために、代表的な次の2種類の時系列画像を準備した。

2種類の時系列画像は、何れも画像上側から移動してきた乗客がエスカレータを降りた後、画像

左側へ移動するものである。

また、乗客の数は1つの時系列画像につき、約25人程度である。

①：乗客密度=適度（1人/ステップ）

転倒者有無=無し

②：乗客密度=多数（1.5人/ステップ）

転倒者有無=有り

後続者への影響=有り（将棋倒し）

今回、著者らが検出しようとしている状況は、

②の様な将棋倒し状態である。

図3に、非転倒状態と転倒状態の代表的な画像と、領域Ⅰ、Ⅱを示す。図に於いて、白破線で囲まれた縦長領域が領域Ⅰを示し、白実線で囲まれた横長領域が領域Ⅱを示している。



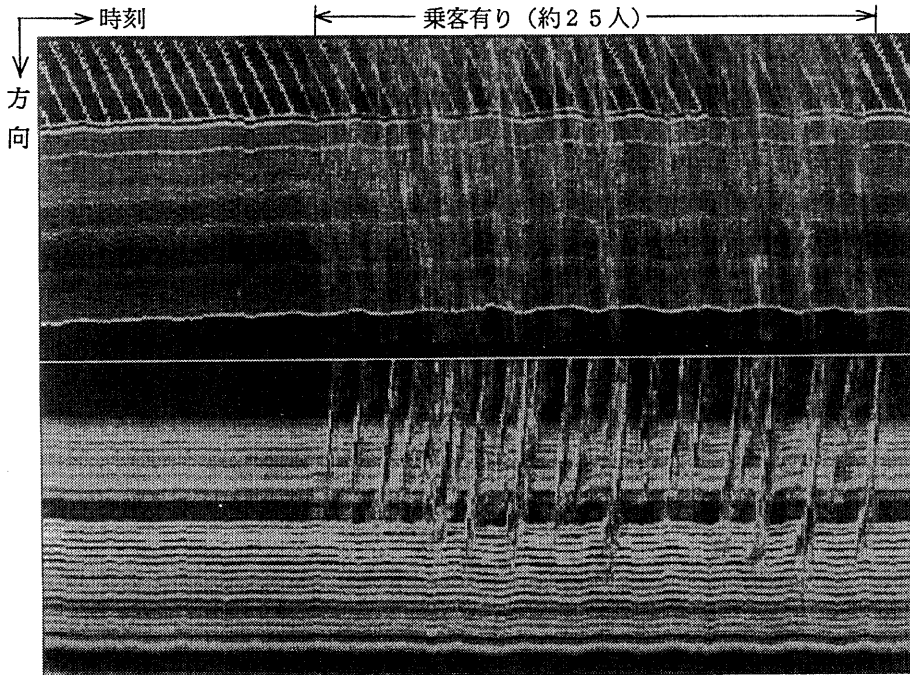
(A) 非転倒時の入力画像と設定領域



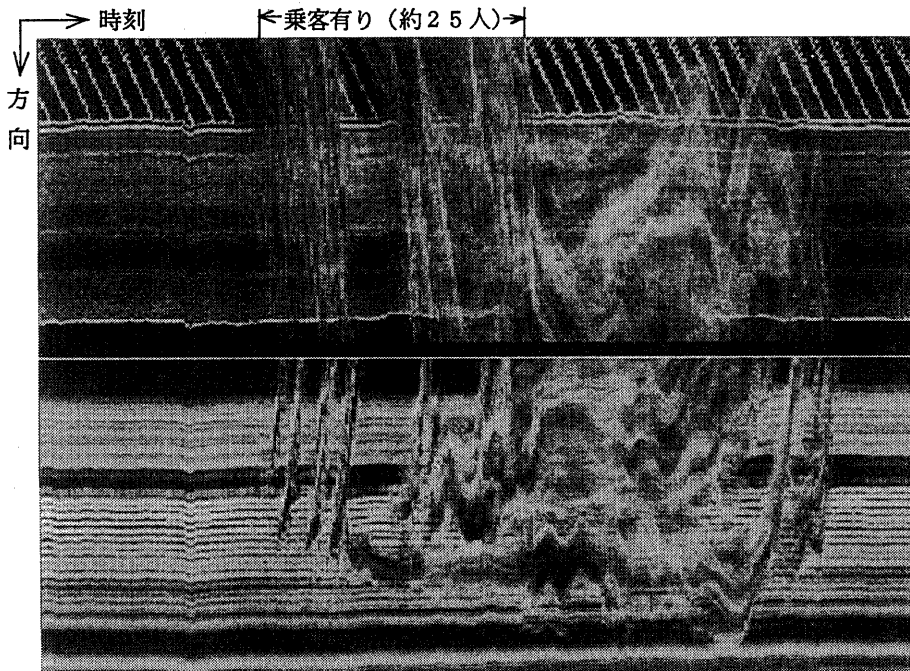
(B) 転倒時の入力画像

図3 入力画像と動き画像対象領域

次に、上記2種類の時系列画像からD T T法によって生成した動き画像を図4に示す。



(A) 時系列画像①の動き画像 (上段: 動き画像 I、下段: 動き画像 II)



▲転倒発生 △

(B) 時系列画像②の動き画像 (上段: 動き画像 I、下段: 動き画像 II)

図4 動き画像

領域Ⅰから生成された動き画像（動き画像Ⅰ）において、

- ・乗客有りとして記した時間内で、画像上端から下端まで右下方への傾きを持って発生している、白い筋状帯領域がエスカレータステップ上の乗客の動きを表している。
- ・全時刻に渡って画像上端から中段まで、定期的に発生している筋状帯領域は、エスカレータのステップそのものの動きを表している。
- ・全時刻に渡って時間軸と平行に発生している帯状領域は、背景（エスカレータ降り口に設置されている滑り止め付き床板等）を表している。

また、領域Ⅱから生成された動き画像（動き画像Ⅱ）において、

- ・乗客有りとして記した時間内で、画像中段から上端まで右上方への傾きをもって発生している、白い筋状帯領域がエスカレータを降りた後の乗客の動きを表している。
- ・時間軸に平行な筋状帯領域は、動き画像Ⅰと同様に背景を表している。

動き画像Ⅱにおいては、筋状帯領域の一本一本が乗客一人一人にほぼ対応している。

なお、動き画像Ⅰと動き画像Ⅱで乗客の動きを表す帯領域の傾き方向が異なっているのは、動き画像Ⅰの上端が入力画像の上端に対応するように座標軸をとっており、動き画像Ⅱの上端が入力画像の左端に対応するように座標軸をとっているためである。

図4に示した動き画像から、以下の事が言える。

動き画像と転倒の関係

(A) 乗客がスムーズに流れている状態

動き画像Ⅰ、Ⅱ共、乗客の動きを表す筋状帯領域が規則正しく発生している。

(B) 転倒者有り→将棋倒し状態

図4(B)中、転倒発生(▲)として記した時刻以降に、動き画像Ⅱの中段当たりにおいて、転倒者の動きが非転倒者の動きと異なることによる「流

れの乱れ」が発生している。

また、その時刻以降にも、動き画像Ⅰに筋状帯領域が存在し、乗客がエスカレータステップ上に存在していることを示しているにもかかわらず、動き画像Ⅱには乗客の正常な動きを表す筋状帯領域が存在しない。したがって、転倒者が発生したことによって後続の乗客も巻き込まれ、将棋倒し状態になっていることが解る。

なお、△で示した時刻以降の「流れの乱れ」は、転倒した乗客が立ち上がる時の動きによるものである。

以上のことから、動き画像Ⅱに「流れの乱れ」が存在するか否か、そのときの動き画像Ⅰの乗客密度はどうなっているかによって乗客転倒(将棋倒し)の判定を行う。

3. 乱流の検出と転倒の判定

ここでは、乗客転倒検出アルゴリズムの第2ステップである、動き画像の解析と乱れ(=転倒者)の検出について述べる。処理フローを図5に示す。

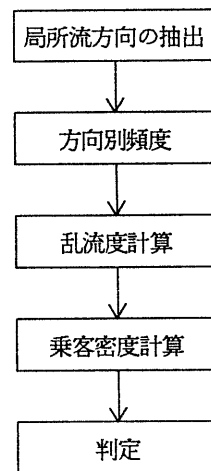


図5 動き画像の解析

図4(A)の動き画像Ⅰと図4(B)の動き画像Ⅰの比較において解るとおり、乗客の密度は帯

領域の密度に比例している。

また、動き画像Ⅱの非転倒者を表す帯領域は全て右上方向へ流れているが、転倒者による乱れた帯領域には、右上方向以外にも右下方向や横方向への流れが存在している。

従って、転倒者の検出は、動き画像の帯領域の局所的な流方向を算出した後、その出現頻度を観測し、定常時（非転倒時）の流れと異なった流れ（乱流）がどの程度発生しているか（乱流度）を判定し、そのときの乗客密度との関係で行う。

以下、アルゴリズムの詳細を記す。

(1) 局所流方向の抽出

先ず、動き画像Ⅰ、Ⅱのそれぞれの帯領域がどの方向へ傾いているかを求める。

そのため、両動き画像に対して、図6に示すような重み係数（図中、白画素は重み0、黒画素は重み1）を持った8個の方向別マスクによって局所演算処理を実行し、演算結果が最大となる方向をその画素の局所流方向とする。

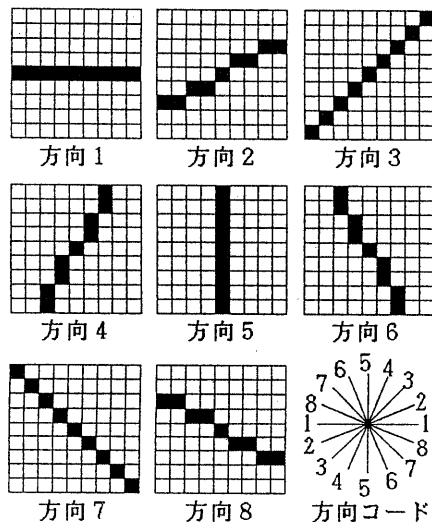


図6 方向別マスク

(2) 方向別頻度

各時刻における局所流方向の流方向別出現頻度を求める。その後、方向別頻度グラフに対して、

時間軸に沿ったNフレーム分の平均値処理を施し、平滑化する。

(3) 乱流度計算

動き画像Ⅱにおいて、非転倒状態では方向4と5（右上方向）の流れがメインで、方向6、7（右下方向）の流れはほとんど存在しないが、転倒状態（乱流）には方向6、7の流れが存在し、その分方向4、5の流れが少なくなる。

従って、非転倒状態と異なった流れが、どの程度発生しているかで乱流度を定義する。

ただし、方向6、7は非転倒状態においても若干存在し（動き画像そのものが局所的に小さな凹凸を持っているため）、その出現頻度の絶対数は、乗客の密度に比例して大きくなり、乗客密度が大きい場合の乱流におけるそれと差がなくなる場合があるため、乗客密度の影響を受けないように非転倒状態を表す方向4、5の出現頻度（これも乗客密度に比例する）との比率によって乱流度 $R(t)$ （ t は時刻）を表す。

$$R(t) = \frac{(H6(t)+H7(t)) \times 100}{(H4(t)+H5(t))+(H6(t)+H7(t))} (\%)$$

ここで、 $H_n(t)$ は時刻 t における局所流方向 n の頻度を表す。

(4) 乗客密度算出

一方、動き画像Ⅰにおいて、乗客の動きを表す帯領域の局所流方向は、方向5と6（右下方向）が主成分である。従って、乗客密度は背景を表す方向1の成分との比率で定義する。

$$G(t) = \frac{(H5(t)+H6(t)) \times 100}{H1(t)+(H5(t)+H6(t))} (\%)$$

(5) 判定

上記(3)、(4)で算出された乱流度 $R(t)$ と乗客密度 $G(t)$ の大きさでもって将棋倒し状態の有無を判定する。

すなわち、

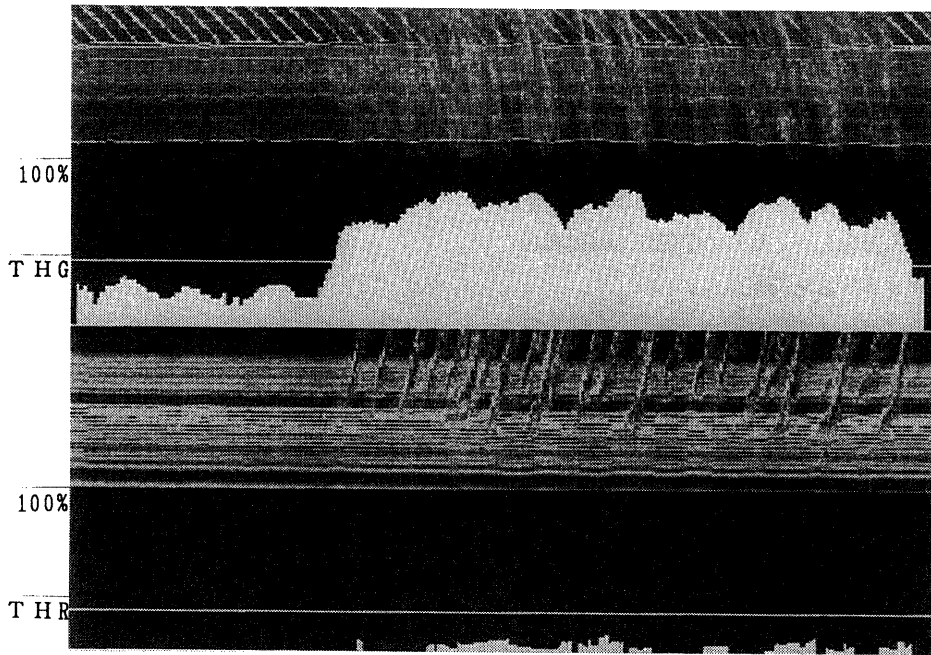
$$\text{将棋倒し} = R(t) > \text{THR} \text{ かつ } G(t) > \text{THG}$$

ここで、THR、THGはしきい値。

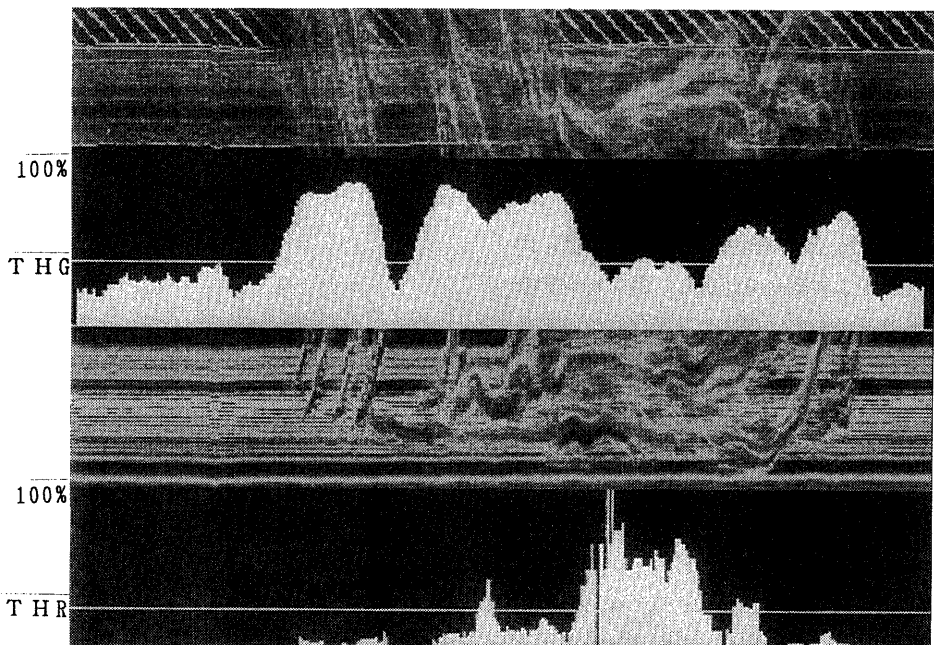
図7に、図4に示した動き画像から算出した乱流度と、乗客密度、ならびに将棋倒し状態か否かを

を判定するためのしきい値を示す。

なお、方向別頻度算出時の平均化処理は30フレーム分で処理した。



(A) 時系列画像①の検出結果（上から、動き画像 I、乗客密度、動き画像 II、乱流度）



(B) 時系列画像②の検出結果（上から、動き画像 I、乗客密度、動き画像 II、乱流度）

図7 乱流度算出結果と検出しきい値

図7から、本報告で検出対象としている時系列画像②において乱流度 $R(t)$ 、乗客密度 $G(t)$ 共にしきい値を越え、将棋倒し状態と判定できていることが解る。

4. おわりに

エスカレータの乗客転倒検出手法として、DTT法による動き画像から局所流方向による乱流度と乗客密度を算出し、これらの関係から将棋倒し状態を判定する手法を提案した。

本手法によれば、対象の動きを画像から直接抽出できるので、形状抽出後にそれを追跡するような従来手法に比べて、安定に乗客の流れを抽出でき（高ロバスト）、一連の処理が射影や頻度算出等H/W向きに構成されているので高速処理が可能である（リアルタイム）。

現状は、フィージビリティスタディの段階であり、エスカレータを降りた乗客の動きが一方向に限定されている、対象とする画像が少ないなど問題点もあるが、本手法によって転倒を検出できる可能性が非常に高いことを示せた。

今後は、更に多くの画像で評価するとともに、エスカレータを降りた後の乗客が様々な方向へ移動しても対応できるアルゴリズムにする等、実運用上の問題点を洗い出し、アルゴリズムの改良を図る必要がある。

また、最初に転倒者が発生してから将棋倒しに至るまでの間をより細かく認識し、各レベルでの警報を発生できるなど、機能の高度化についても検討を重ねる予定である。

参考文献

- [1] Berthold K.P. Horn他、
"Determining Optical Flow"、
Artificial Intelligence 17、pp185-203、
1981
- [2] 谷口他、"DTT法を用いた車両認識"、
情処CV研72-5、1991