

CHLAC 特徴と部分空間法を用いた不審行動の検出

今 西 秀 聡^{†1} 林 豊 洋^{†2}
榎 田 修 一^{†3} 江 島 俊 朗^{†3}

セキュリティ分野における映像監視への応用を踏まえて、映像からの不審行動検出の研究が盛んに行われている。立体高次自己相関 (CHLAC) 特徴と部分空間法を使用し、通常動作から逸脱した動作を検出する南里らの手法¹⁾がある。しかし、南里らの方法は通常動作の組み合わせで起こる不審行動の検出という問題には対応できていない。そこで、本論文では、CHLAC 特徴と部分空間法を用いて順序付リストを作成し、部分空間との距離を比較することで不審行動を検出する手法を提案した。異常動作を含む動画像系列や動作系列を時系列に沿って意味解釈した場合にセキュリティ上問題が有りそうなものに対して実験を行い、提案手法の有効性を示した。

Suspicious Behavior Detection based on CHLAC Method

HIDEAKI IMANISHI,^{†1} TOYOHIRO HAYASHI,^{†2}
SHUICHI ENOKIDA^{†3} and TOSHIKI EJIMA^{†3}

We have proposed a method for suspicious behavior detection based on CHLAC method. We focus on suspicious behavior that consists of set of actions. Generally such suspicious behavior can't be detected by single action recognition. To deal with this problem, action sequence, which is decomposition of behavior, is target to be recognized. First, we have designed CHLAC subspace for each single action using PCA analysis. Each action subspace is used to detect the action included in input behavior which is consider as sequence of action. Next, we make detection list of input behavior, elements of which are actions and are sorted in time order. Finally, detection list is surveyed from a point view that suspicious action sequence is included in it or not. Through experiment the validity of our proposed method has been shown.

1. はじめに

セキュリティ確保の社会的な要請が高まる中、映像をリアルタイムに自動解析し不審行動の検出を行うシステムへの強い関心が寄せられているが、特にどのような行動（挙動）を検出対象とすべきかが重要な研究題目としてクローズアップされてきている。一般に不審行動と呼ばれるものは、場所、時間、状況などによって種々様々である。日常生活でみられるいわゆる通常の動作と日常生活では稀にしか見られない異常な動作を区別によって対応できるものの、通常の動作の時系列の意味解釈によって対応するものなどがある。前者に関しては大量の通常の動作データを基に通常の動作空間を構成して、入力してきた映像がその空間に入っているか否かを判断することにより識別する方式が CHLAC 特徴を基に提案されていて高い評価を受けている。一方、後者に関しては、いわゆる通常の動作空間内での分類方法として位置付けされるので、前者の手法がそのまま適応できない。すなわち、後者では通常の動作空間内における各々の通常の動作の定式化とその検出精度が研究課題となる。本論文ではこの課題を受けて、不審物を持ち込んで、置いて立ち去るという一連の行動を不審行動の一例として取り上げ、CHLAC 特徴を基にした不審行動検出法を提案し、映像を入力とした不審行動検出実験を通して提案手法を評価する。

具体的には、通常動作を複数設定し、CHLAC 特徴と部分空間法を使用した不審行動検出手法を提案する。通常動作として、右に歩く、左に歩く、鞆を持って右に歩く、鞆を持って左に歩くの 4 動作があるとし、鞆を持って右に歩く、左に歩くという時系列の行動があると仮定する。この時系列の行動は、不審物（鞆）を置いて立ち去ったという可能性があるため不審行動となる。既存手法では、通常動作の 4 動作全てで構成された部分空間で一動作ごとに識別するため、この行動を不審行動として検出することはできない。不審物放置を不審行動として検出するためには、動作の識別を行い、その時間変化を観測する必要がある。全ての通常動作で構成された部分空間では、鞆の有無や人物の進行方向などの重要な要素を識別することができない。そこで、通常動作 1 つ 1 つで個別に通常動作部分空間を構成し動作の識別を行う。通常動作部分空間と入力との距離により順序付リストを作成し動作の識別を行

^{†1} 九州工業大学大学院情報工学府

Kyushu Institute of Technology Graduate School of Computer Science and Systems Engineering

^{†2} 九州工業大学情報科学センター

Kyushu Institute of Technology Information Science Center

^{†3} 九州工業大学大学院情報工学研究院

Kyushu Institute of Technology Faculty of Computer Science and Systems Engineering



図 1 左：入力画像 右：二値化画像

Fig. 1 Extraction of motion

い、順序付リストの時間変化を観測することで不審行動を検出する。

右に歩く (→), 左に歩く (←), 鞆を持って右に歩く (→ (鞆)), 鞆を持って左に歩く (← (鞆)) の 4 動作を通常動作とし, 鞆を投げる, 転ぶ, 鞆を盗むの 3 動作を異常動作として実験を行う。実験は, (1) 動作系列の中に異常動作が含まれるもの, あるいは (2) 動作系列を時系列に沿って意味解釈をしたときセキュリティ上問題がありそうなものにおいて不審行動検出を行う。

2. 動作識別

本論文では, 動作とは歩くや走るといった単一の動きを指す。本章では CHLAC 特徴と部分空間法を用いて通常動作部分空間を構成し, 入力との距離を算出することで動作を識別する方法について述べる。

2.1 前処理

本手法では, 動作の検出にピクセルごとの時間差分画像を用いる。このときの画像はグレイスケール (256 階調) である。しかし, この処理では背景の明るさの変化などによるノイズが含まれる。そこで, ノイズを除去するために二値化処理を行う。二値化はある閾値処理によって行う。処理の結果は図 1 のようになる。

2.2 特徴量抽出

前処理を行った画像から CHLAC 特徴を抽出する。CHLAC 特徴とは, 高次自己相関 (HLAC) 特徴を時間方向に拡張したものである。

2.3 高次自己相関特徴 (HLAC 特徴)

二値化された画像上のある点 r における高次自己相関について考えるとき, 注目画素と近傍の領域は相関が高いと予想される。全領域の相関をとるのではなく, 局所領域内からの相関を算出する。これを HLAC 特徴量と呼ぶ。

N 次自己相関関数は次のようになる。

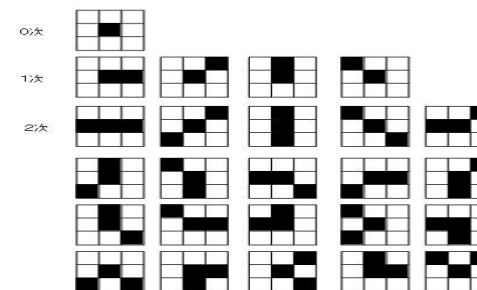


図 2 HLAC 特徴の変位ベクトルの組み合わせ

Fig. 2 Local 3*3 masks up to the second order

$$x(a_1, \dots, a_N) = \int f(r)f(r+a_1)\dots f(r+a_N) \quad (1)$$

ここで f は時系列画像であり, 参照点 r , N 個の変位 $a_i (i = 0, \dots, N)$ である。

次元を 2 次として変位方向を 3×3 に限定した場合, 二値動画像の HLAC 特徴の変位ベクトルの組み合わせは平行移動で等価になるものを除き, 0 次が 1 個, 1 次が 4 個, 2 次が 20 個の計 25 次元のベクトルとして表される。変位ベクトルの組み合わせを図 2 に示す。

HLAC 特徴は, 位置不変性と加法性という 2 つの性質を持つ。位置不変性とは, 対象が画面内のどの位置に居ても特徴量は変動しないという性質である。加法性とは, 例えば A という人の動作の特徴量を f_A , B という人の動作の特徴量を f_B としたときに, A と B の 2 人が画面内で動作を行った場合, 特徴量は $f_A + f_B$ となる性質である。

2.4 立体高次自己相関特徴 (CHLAC 特徴)

HLAC 特徴は 2 次元の局所領域の相関を求めるものであったが, CHLAC 特徴は時間も加えた局所領域の相関を求めるものである。これは, 次式に示す N 次自己相関関数を時系列画像の時間で積分することで求めることができる。

$$x_f^N(a_1, \dots, a_N) = \int f(r)f(r+a_1)\dots f(r+a_N) \quad (2)$$

時間方向の積分範囲は, どの程度の時間方向の相関を取るか任意のパラメータである。二値動画像からの CHLAC 特徴の変位ベクトルの組み合わせの数は, 0 次が 1 個, 1 次が 13 個, 2 次が 237 個であり, 合計 251 次元のベクトルとして表される。CHLAC 特徴も HLAC 特徴と同じく位置不変性と加法性という 2 つの性質を持つ。

2.5 部分空間法

部分空間法とは、クラス分類の手法であり、本手法では部分空間法を用いて通常動作であるか異常動作であるかを判断する。

2.5.1 通常動作部分空間

学習データから算出した CHLAC 特徴ベクトル $x_i (i = 1, \dots, N)$ を使用し、通常動作の部分空間を構成する。通常動作の部分空間を構成するために主成分分析を行う。まず、分散共分散行列を求める。ここで μ は特徴ベクトルの平均である。

$$\Sigma_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ((x_i - \mu)(x_i - \mu)^T) \quad (3)$$

分散共分散行列から固有値と固有ベクトルを求める。固有値行列 $\Lambda = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_M)$ において、累積寄与率 η_K は

$$\eta_K = \frac{\sum_{i=1}^K \lambda_i}{\sum_{j=1}^M \lambda_j} \quad (4)$$

で表され、累積寄与率 η_K が 0.99 となる次元までの固有ベクトル $u_1, \dots, u_K$ を使用する。この固有ベクトルで張られる空間を通常動作の部分空間とする。主成分直交基底 $U_K = [u_1, \dots, u_K]$ によって張られる部分空間への射影子は $U_K U_K^T$ として表される。入力画像 x と通常動作部分空間の距離は

$$d^2 = x^T x - x^T U_K U_K^T x \quad (5)$$

となる。距離 d を動作識別の指標とする。

2.6 動作識別実験

CHLAC 特徴と部分空間法により動作の識別が可能か実験を行い検証する。

2.6.1 実験結果と考察

右に歩く (→), 左に歩く (←), 鞆を持って右に歩く (→ (鞆)), 鞆を持って左に歩く (← (鞆)) の 4 つの通常動作で実験を行った。入力動画を撮影したビデオカメラには、sony 社製 handycam HDR-CX700 を使用した。CHLAC 特徴の積分範囲は前 20 フレーム、時間の変位は 1 フレームごととした。

人物が鞆を持っている鞆を持って左に歩く、鞆を持って右に歩くから構成される部分空間 “鞆有” と鞆をもっていない左に歩く、右に歩くから構成される部分空間 “鞆無” を用いて、鞆を持っているか検出できるかの実験を行った。結果を図 3 に示す。図の縦軸は通常動作部分

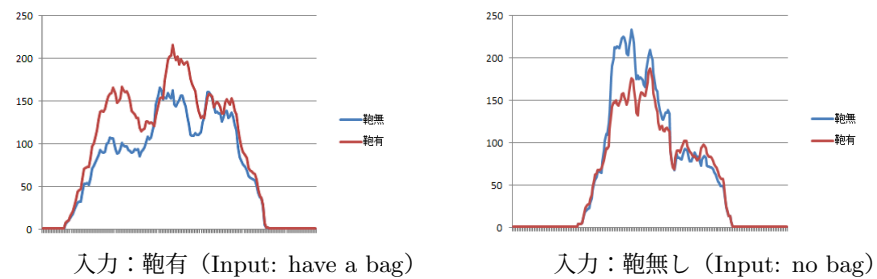


図 3 鞆検出実験結果
Fig. 3 Detection of bag experiment result

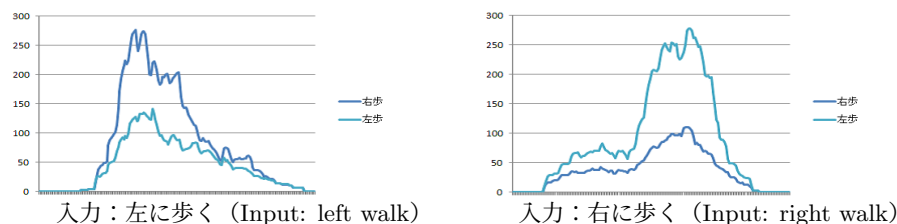


図 4 動作方向識別実験結果
Fig. 4 Ditection of direction experiment result

空間までの距離、横軸は時間である。部分空間までの距離は入力が通常動作ならば小さく、異常動作（指定していない動作）ならば大きくなる。

鞆を持っているにもかかわらず “鞆有” の通常動作部分空間の距離の値が “鞆無” よりも小さく、鞆無しの場合には、 “鞆無” の通常動作部分空間の距離の値が “鞆有” よりも大きいことが確認できた。 “鞆有”、 “鞆無” の 2 つの部分空間では鞆の有無を識別できないことが分かった。

次に、動作を行っている方向を検出できるか実験を行った。実験に用いた部分空間は “左歩”、 “右歩” である。 “左歩” は左に歩く (←), 鞆を持って左に歩く (← (鞆)) から構成された部分空間であり、 “右歩” は右に歩く (→), 鞆を持って右に歩く (→ (鞆)) から構成された部分空間である。入力は、鞆無しで左に歩いている動画、鞆無しで右に歩いている動画の 2 つを用いた。実験結果を図 4 に示す。

入力が左に歩くの場合、 “左歩” が “右歩” に比べ小さな値を返していることが確認でき、逆

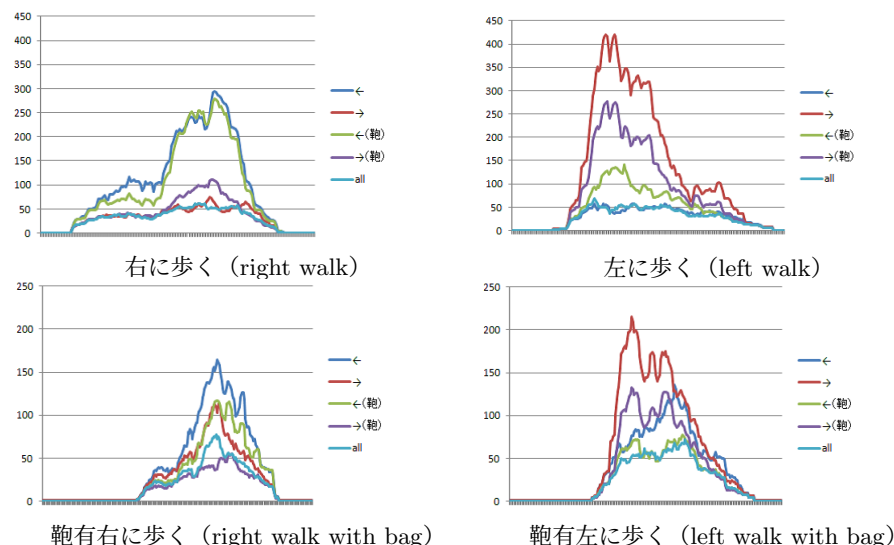


図5 動作識別実験結果

Fig. 5 Detection of motion experiment result

に入力が右に歩く場合，“右歩”が“左歩”に比べ小さな値を返していることが確認できた。この結果より，動作方向はこの2つの部分空間で識別できることが確認できた。

“鞆有”，“鞆無”の2つの部分空間で鞆の有無が識別できないことに対する考察を行う。図4より，動作方向が異なると違う動作として識別されることが分かっている。これより，動作方向が異なる2つの動作から構成されている“鞆有”，“鞆無”は動作している方向が同じ動作から構成された部分空間よりも大きな空間で構成されていると考えられる。そのため，鞆の有無という小さな差異は大きくなった空間に含まれることにより識別することができなかつたのではないかと予測される。対処法として，もっと詳細に部分空間を細分化すればよいと考えられる。そこで，通常動作を一つ一つ個別に張り動作識別の実験を行った。結果を図5に示す。また，4つの通常動作全てから構成される通常動作部分空間“all”でも実験を行った。

実験結果より，行われている動作とその動作で構成された通常動作部分空間までの距離が最小であることが確認できた。これにより，通常動作部分空間までの距離が最小のものを観測すれば鞆の有無も含めて動作識別は可能であると考えられる。また，同じ歩く動作であっ

ても動作を行う方向によって別の動作であることが確認された。これは，CHLAC 特徴が回転不変な特徴量でないためである。

3. 不審行動検出手法

本章では動作識別の識別結果より得られる順序付リストを用いて不審行動を検出手法について述べる。

3.1 動作と行動

前章で説明したように動作とは歩くや走るといった単一の動きを指す。行動は単位時間で認識される動作の時系列として定義する。例を挙げると歩いて鞆を置き走り出すは行動であり，この時の動作は歩く，鞆を置く，走るとなる。不審行動とは（1）動作系列の中に異常動作が含まれるもの，あるいは（2）動作系列を時系列に沿って意味解釈をしたときセキュリティ上問題がありそうなものとする。不審行動の検出は動作識別の結果より得られる順序付リストを用いて以下に述べる方法にて行う。

不審行動の例として，鞆を持って右に歩く，左に歩くという時系列は不審物（鞆）を置いて立ち去った，一方通行の場所で逆走するなどがある。

3.2 順序付リスト

鞆を持って右に歩く，左に歩くという不審物放置の可能性のある時系列について考える。既存手法では，全ての通常動作で構成された部分空間を用いて動作を識別するので，この時系列は通常動作としか判断できない。そのため，不審物放置の可能性を警告することができない。不審行動を検出するためには，1つ1つの動作の識別を行い，その時間変化を観測する必要がある。

全ての通常動作で構成された部分空間では，鞆の有無や進行方向などの重要な要素を識別することができないため，通常動作1つ1つで個別に通常動作部分空間を構成し動作の識別を行う。各動作ごとに構成された通常動作部分空間と入力との距離を降順に並べた順序付リストを作成する。順序付リストを用いて動作の識別，動作の時間変化を観測することで不審行動の検出を行う。

不審物放置の順序付リストについて考える。通常動作を左に歩く（←），右に歩く（→），鞆を持って左に歩く（←（鞆）），鞆を持って右に歩く（→（鞆））の4動作とする。ある時刻で鞆を持って右に歩き，次時刻で左に歩く動作（鞆無し）の場合図6のようになる。距離が小さいものが行われていると考えられる動作である。

得られた順序付リストの下位k個を観測する（Rankの利用）ことにより不審行動を検出

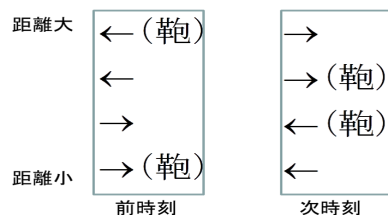


図 6 順序付リストの例
Fig. 6 Sequence sorted list

する。下位 2 つを観測すると、人物の進行方向を高い精度で検出できると考えられる。

3.3 検出の方法

提案手法の流れを図 7 に示す。不審行動の検出には、一つの動作で構成された部分空間を複数用意し、入力との距離をそれぞれ算出し順序付リストを作成・観測することで不審行動を検出する。異常動作検出では、通常動作と指定した動作すべてで構成された部分空間を用意し距離を算出することで異常動作を検出する。

4. 実 験

本章では、ビデオカメラにより撮影した動画画像により、提案手法による不審行動検出の有効性を示した。異常動作を含む不審行動、異常動作を含まない不審行動に対して実験を行った。

4.1 異常動作を含む不審行動検出

動作系列の中に異常動作を含む動画画像での、通常動作部分空間までの距離の推移を確認するため実験を行った。

4.1.1 実験概要

異常動作を含む動画画像での不審行動検出を行った。右に歩く (→)、左に歩く (←)、鞆を持って右に歩く (→(鞆))、鞆を持って左に歩く (←(鞆)) の 4 つの通常動作を用いた。部分空間として、1 動作で構成された通常動作部分空間と 4 動作の特徴量で構成された通常動作部分空間 “all” を用意した。

使用した入力動画画像は、初めに鞆を持って右に歩く動作、その後鞆を持って左に歩き、その途中で鞆を投げる異常動作をしているものを用いた。入力動画画像を図 8 に示す。

動画画像の撮影には、sony 社製 handycam HDR-CX700 を使用し、CHLAC 特徴の積分範囲は前 20 フレーム、時間の変位は 1 フレームごと、閾値は 200 とした。異常が検出される

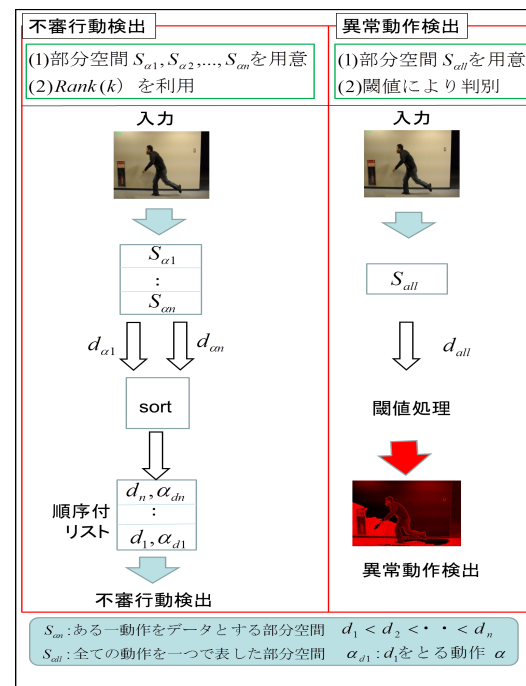


図 7 提案手法の流れ

Fig. 7 Flow of detection of suspicious behavior

と画面が赤くなるように設定した。

4.1.2 実験結果と考察

入力と “→”, “←”, “→(鞆)”, “←(鞆)”, “all” の 5 つの通常動作部分空間との距離を算出した。距離の推移の結果を図 9 に示す。

結果の前半部分 (鞆を持って右に歩く) では、“→(鞆)” と “all” が他の部分空間と比べ小さな値を返していることが確認できた。後半部分では、鞆を投げている時刻 $t=400$ のあたりで全ての通常動作部分空間において距離の値が上昇していることが確認できた。鞆を投げると異常が検出され、鞆が画面から観測されなくなると通常動作になることが図 9 に示されている。

異常動作を含む動画画像では、異常動作が行われた時点で “all” と入力との距離が通常動作

に比べ大きな値になるため、異常動作を動作系列中に含む動画像では不審行動は検出できると考えられる。

4.2 異常動作を含まない不審行動検出

動作系列の中に異常動作を含まない動画像での、通常動作部分空間までの距離の推移を確認するため実験を行った。

4.2.1 実験概要

動作系列中に異常動作を含まない動画像での不審行動検出を行った。右に歩く（→）、左に歩く（←）、鞆を持って右に歩く（→（鞆））、鞆を持って左に歩く（←（鞆））の4つの通常動作を用いた。部分空間として、1動作で構成された通常動作部分空間と4動作で構成された通常動作部分空間“all”を用意した。

使用した入力動画像は、動作系列を時系列に沿って意味解釈したときにセキュリティ上問題がありそうなもの、不審物放置という不審行動をしているものを用いた。つまり、初めに鞆を持って右に歩く動作、その後鞆なしで左に歩く動作をしているもの（不審物（鞆）を置いて立ち去った）である。入力動画を図10に示す。

動画像の撮影には、sony 社製 handycam HDR-CX700 を使用し、CHLAC 特徴の積分範囲は前20フレーム、時間の変位は1フレームごととした。

4.2.2 実験結果と考察

図10に示した入力動画像を用いて、“→”、“←”、“→（鞆）”、“←（鞆）”、“all”の5つの部分空間との距離を算出した。距離の推移の結果を図11に示す。

“all”に関しては前半部分（鞆を持って右に歩く）と後半部分（鞆無しで左に歩く）のどちらも低い値を返しているため、不審物放置の不審行動は検出できないことが確認できた。他の4つの部分空間の距離に基づき順序付リストを作成すると図12のようになる。

順序付リストの下位2つに注目する。前時刻（鞆を持って右に歩く）では、最下位に“→（鞆）”、2番目に“→”であり、前時刻の動作としては“→（鞆）”と認識することができる。次時刻（鞆無しで左に歩く）では、最下位に“←”、2番目に“←（鞆）”であり、次時刻の動作は“←”と認識できる。この情報により鞆がなくなっていることがわかり、不審物放置という不審行動は検出できると考えられる。

5. ま と め

本論文では、CHLAC 特徴と部分空間法を用いて順序付リストを作成することで不審行動検出を行う手法を提案し、実験を通して提案手法の有効性を示した。

動作識別の実験より、通常動作部分空間は個々の動作から構成されたものを使用しないと鞆の有無は識別できないことが分かった。動作系列の中に異常動作を含むものでは、全ての通常動作の特徴で構成される通常動作部分空間“all”により、異常動作を検出することが可能であった。動作系列を時系列に沿って意味解釈したときセキュリティ上問題がありそうなものでは、個々の動作から構成された部分空間と順序付リストを用いることで、動作系列を時系列に沿って意味解釈をすることができ不審物放致という不審行動を検出することを可能とした。

本手法では、通常動作部分空間は個々の動作から構成されたものを使用しているため、識別したい動作が多くなればなるほど部分空間の数も多くなっていく。しかし、カメラを仕掛ける場所や状況により通常動作の数は制限されると考えられる。そのため、通常動作の数が増えることによる処理時間の増加や識別精度の低下といった問題は多少は抑えられると予測される。今後の課題として通常動作を増やすことや本手法では複数人の場合に対応できていないのでその対処法が挙げられる。複数人の場合の対処法として、人物領域の検出を行い、その領域に適応するという手法が考えられる。

参 考 文 献

- 1) 南里卓也, 大津展之, “複数人動画像からの異常動作検出”, 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU2004-77, Vol. 104, No. 291, pp. 9-16, 2004.
- 2) 村井泰裕, 藤吉弘亘, 数井誠人, “時空間特徴に基づくエスカレーターシーンにおける人の異常行動検知”, 電子情報通信学会, PRMU2008-87, Vol.108, No.198, pp.247-254, 2008.
- 3) 児玉吉晃, 福井和広, “多視点動画像を用いた異常動作検出”, SSII, 2009.
- 4) 佐藤竜太, 亀田能成, 大田友一, “CHLAC 特徴量と部分空間法による複数行動の分類”, MIRU, 2009
- 5) 鷺見和彦, 関真規人, 塩崎秀樹, “画像によるエレベータ内異常検知技術”, 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 1, pp. 17-22, 2007.
- 6) 大津展之, “判別および最小2乗規準に基づく自動しきい値選定法”, 電子通信学会論文誌 D, J63-D-4, 349-356, 1980.
- 7) T.Kobayashi and N.Otsu. “Action and Simultaneous Multiple-Person Identification Using Cubic Higher-Order Local Auto-Correlation”, In Proc. International Conference on Pattern Recognition, pp. 741-744, 2004.
- 8) 関弘和, 堀洋一, “高齢者モニタリングのためのカメラ画像を用いた異常動作検出”, 電気学会産業応用部門誌, Vol. 122-D, No. 2, pp. 181-188, 2002.2.

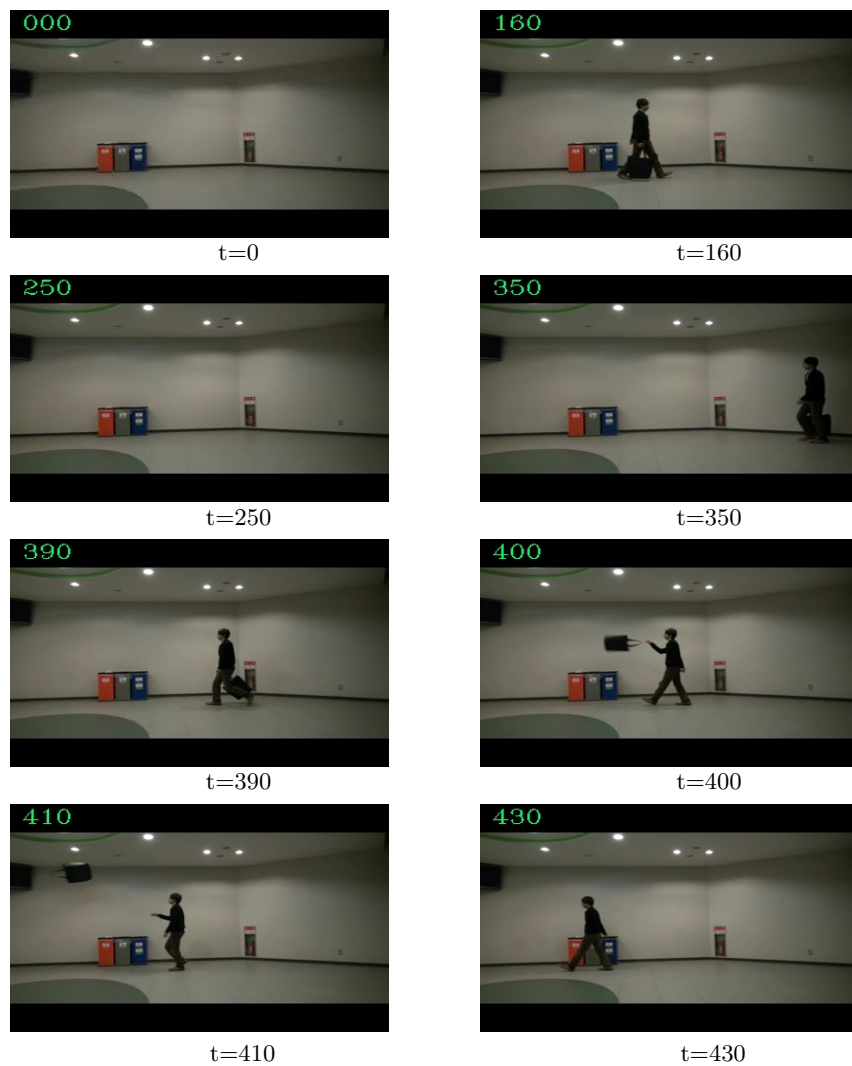


図 8 異常動作を含む入力
Fig. 8 Input of abnormality motion

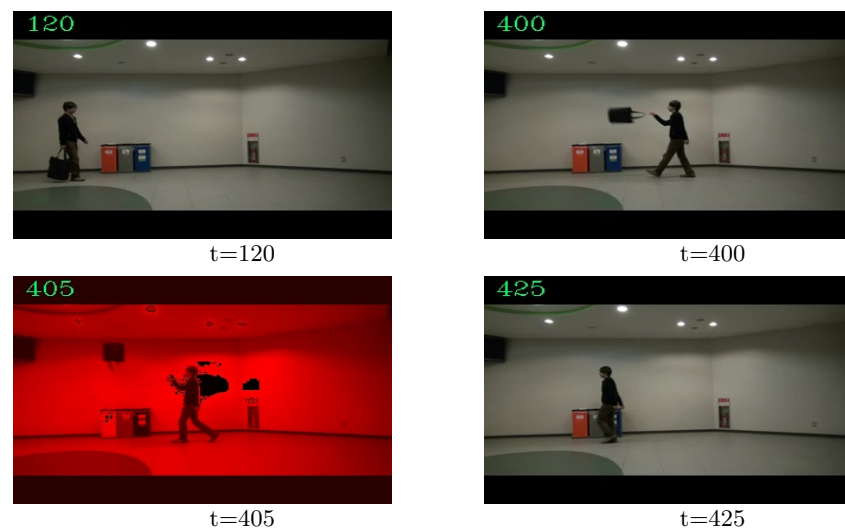
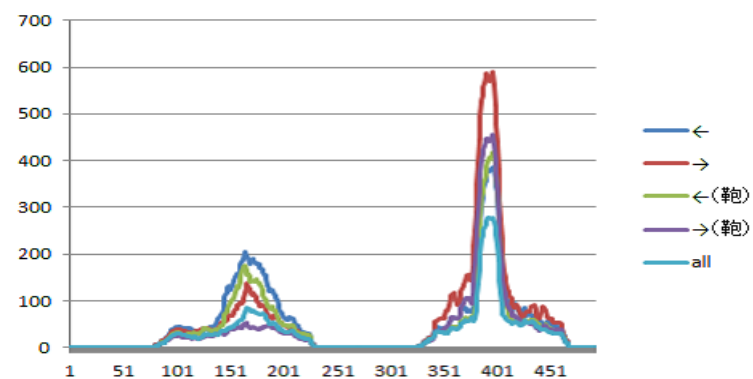


図 9 異常動作含む行動の検出結果
Fig. 9 Result of abnormality detection

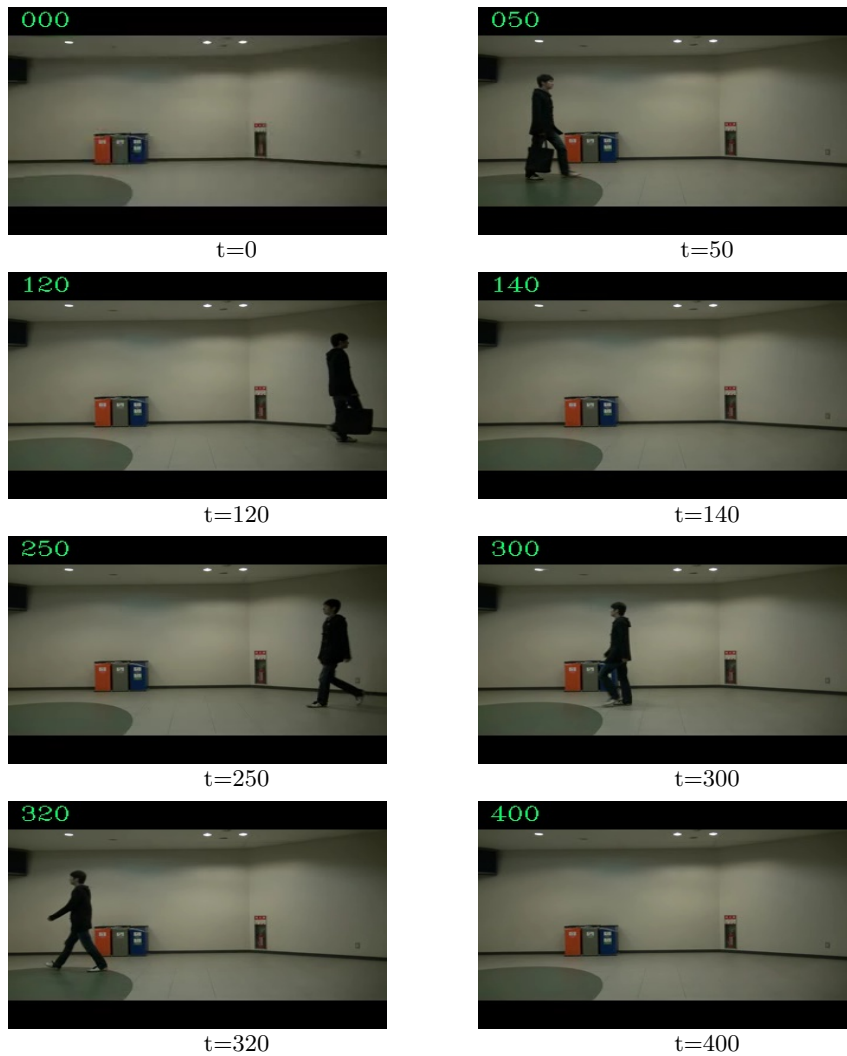


図 10 入力：不審物放置
Fig. 10 Input of suspicious behavior

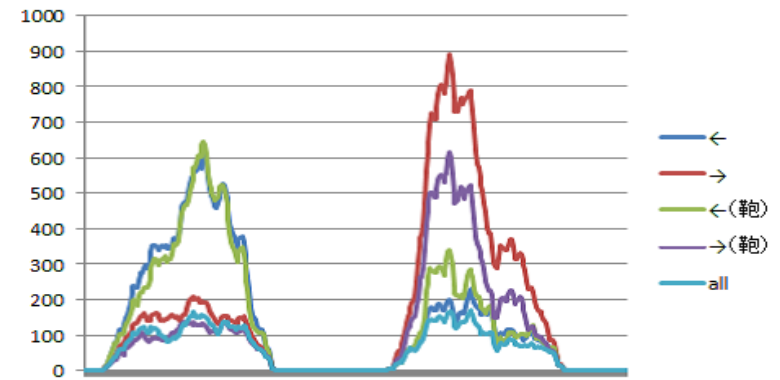


図 11 不審物放置の検出結果
Fig. 11 Result of suspicious detection

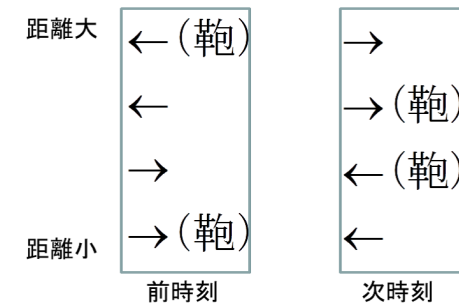


図 12 不審物放置の順序付リスト
Fig. 12 Sequence sorted list of suspicious detection