

リカレントニューラルネットワークを用いた全方位温度画像による不審行動検出システムの研究

(知能情報システム学研究室) 水野 敦介

1. 緒言

近年、犯罪件数の増加・凶悪化により防犯システムに対するニーズが高まっている。現在、防犯分野で注目されているオンラインセキュリティでは、赤外線温度カメラが注目されている。全方位温度画像を用いた研究^[1]では、人物の位置、姿勢向き、移動向きを推定し、姿勢向きと移動向きが異なる行動、周りを見回している行動を不審者としている。一般的に、人物の移動に対して姿勢向きが異なっているだけでは、不審であるかどうか判断できない。

そこで、本研究では、全方位温度画像を用いて、普段の人物行動パターンをリカレントニューラルネットワークによって学習し、学習を行った人物の行動パターンから外れた人物行動は、普段人物が行動することがないパターンであるとし、不審行動を取ったと判断するシステムを提案する。更に、環境中に人物が普段触らない領域が存在する場合、人物とシステムとの距離を全方位温度画像から実空間距離に変換し、距離と方向から人物が、不審領域に入っているかを検知し、不審者と判断することを目指した。

2. 処理概要

本研究における処理フローを図1に示す。

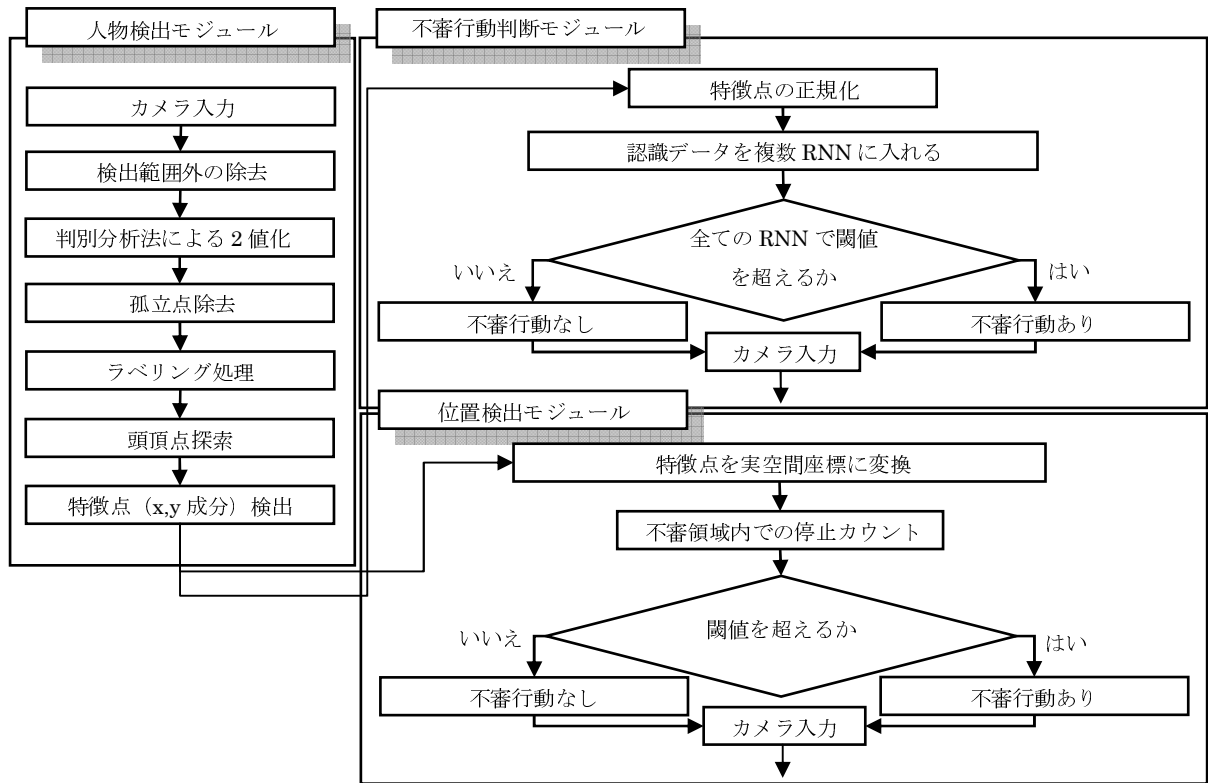


図1 処理フロー

本法における処理は、人物領域から特徴点を探索する「人物検出モジュール」と、探索した特徴点からリカレントニューラルネットワーク（以下、RNN と表記）によって不審行動を検出する「不審行動判断モジュール」と、探索した特徴点を実空間座標に変換して、不審領域に侵入しているかを判断する「位置検出モジュール」の3つで構成されている。

3. 人物検出モジュール

人物検出モジュールでは、実験環境下においてリアルタイムにカメラ入力を行い、検出範囲内にある温度画像に対して、判別分析法による2値化を行う。次に、2値化を行なった画像をラベリング処理によって、ラベル付けされた領域の中から一番面積の大きい領域を特定する。最後に、その領域の中でミラー中心から最も遠い画素を探索し、その画素から一定範囲内にあるラベル付けされた領域を抽出し、一番面積の大きな領域及び一定範囲内にある抽出された領域を人物領域とする。そして、これらの人物領域の中で、比較的温度が高く、安定して撮影できる部分は、顔及び頭部であり、人物が直立している状態では頭部はミラー中心から最も遠い領域となるので、ミラー中心からもっとも遠い画素を特徴点として抽出する。処理の流れを図2に示す。

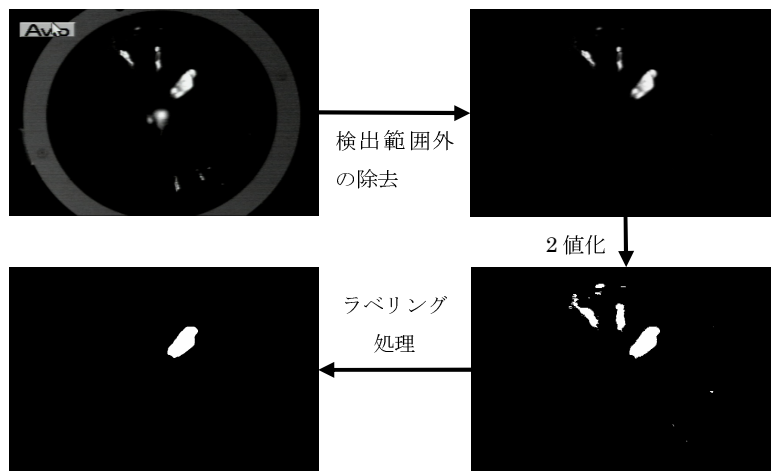


図2 全方位温度画像から人物領域を抽出

4. 不審行動判断モジュール

不審行動判断モジュールでは、人物検出モジュールで得られた特徴点を[0,1]に正規化して、並列に構成された複数のRNNに入力し、各RNNで設定した閾値を全て超えた場合、そのとき人物が不審行動を行ったと判断する。本研究では特徴点の時系列データを基に不審行動を判断するので、時系列パターンの取り扱いを目的として提案されたエルマン型のリカレントニューラルネットワークを用いる。エルマン型ネットワークは、層構造のニューラルネットワークにコンテキスト層を追加し、中間層の出力がコンテキスト層への入力となり、コンテキスト層の出力が再び中間層の入力になるというフィードバック結合を持つ。特徴としては、中間層の素子とコンテキスト層の素子は一対一に対応しているので、コンテキスト層の素子数は中間層の素子数と等しい。また、中間層の素子数が問題対象の出力次元によって拘束されることがないので、コンテキスト層の素子数が自由に設定できる。

本研究のエルマン型ネットワークでは、図3のようにコンテキスト層に自分自身へのフィードバック結合を加え、自分自身のフィードバック結合とコンテキスト層の効果により、時系列データを効率的に処理することができる。コンテキスト層の出力は、コンテキスト層の素子が線形関数、自分自身へのフィードバック結合の重み係数 α で固定されているとすると、時刻(t)でのコンテ

キスト層の素子出力 $S(t)$ は、時刻(t)での中間層の出力を $H(t)$ とすれば、

$$\begin{aligned}
 S(t) &= \alpha S(t-1) + H(t-1) \\
 &= \sum_{r=1}^t \alpha^{r-1} H(t-r) + \alpha^t S(0)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

となる。なお初期値として、時刻 0 のとき、コンテキスト層から出力される値を、0.5 に固定し、フィードバック結合の重み係数 α を、0.5 に設定する。

この RNN に現在の観測特徴点を入力することで、次時刻の予測観測特徴量が出力される。RNN による例外行動判断の条件は、予測値と次時刻での観測特徴量の 2 乗誤差の値が、各 RNN で、

- ① 設定した例外行動判断のための閾値を超えるか
- ② 数ステップで設定値を超えるか

を観測し 2 つの条件を満たしたら、対象の RNN で不審行動であると判断する。

5. 位置検出モジュール

位置検出モジュールでは、まず人物検出モジュールで得られた特徴点を、実空間座標に変換する。そして、実空間上で、事前に設定した不審領域に人物が一定時間停止を確認したら不審行動と判断する。実空間距離の変換式は、全方位ミラーのパラメータ b, c 、人物の身長と全方位ミラー先端の高さの差 H_0 、全方位ミラー上でのミラー中心と特徴点との距離 d 、赤外線温度カメラの焦点距離 f より、

$$D = \frac{(b^2 - c^2)dH_0}{2bc\sqrt{f^2 + d^2} - (b^2 + c^2)f} \quad (2)$$

となる。

行動判断モジュールと位置検出モジュールに関しては、不審行動と判断した時から、その人物の人物領域が検出できる間、赤外線温度画像を静止画で保存する。

6. 実験方法

実験は、本学 1 号館玄関内（室温 12℃）で行った。実験装置は、赤外線温度カメラ（日本アビオニクス製 TVS-700）、全方位ミラー（山田光学工業（株）、図 4）、A/D コンバータ（canopus 製 ADVC-300）、ビデオカメラ（SONY 製 DCR-VX2000）、PC（DELL INSPIRON 5120 CPU：PentiumIV 3.20GHz メモリ：1.00GB）、全方位ミラー固定装置である。赤外線温度カメラで撮影した全方位温度画像はビデオ出力により A/D コンバータに入力し、IEEE1394 を介して PC に入力すると同時に記録用として、A/D コンバータのビデオ出力をビデオカメラで録画する。学習データとして用いる行動パターンは、予備実験により、表 1 に示すように 12 種類に分類し、各行動パターンの不審行動検出で、4 ステップ連続で表 1 の閾値を超える場合は不審行動とする。赤外線温度カメラの温度設定は、予備実験より、下限温度 15℃～上限温度 20℃で実験を行った。

7. 実験結果と考察

被験者 4 人 A、B、C、D に学習行動パターンと例外行動パターン、不審行動を行ってもらった。以下に被験者 A の結果を示す。表中『4』が不審の判断である。学習行動パターンを被験者 4 人に行ってもらった結果、100%で正常行動と判断することができた。例外行動に関しても、100%で検出することができた。事前に被験者 A、C には、赤外線を透過するような

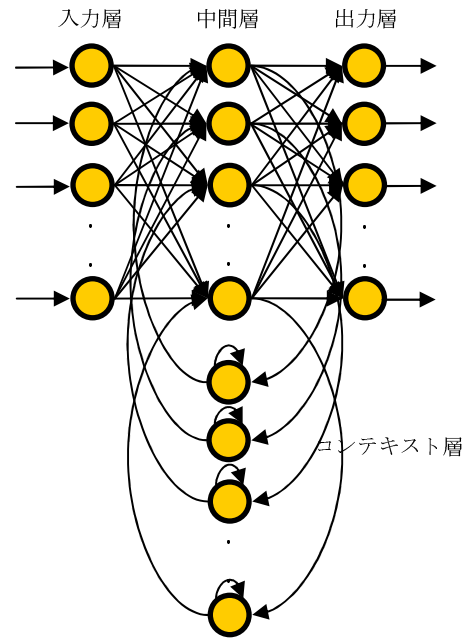


図 3 エルマン型ネットワーク

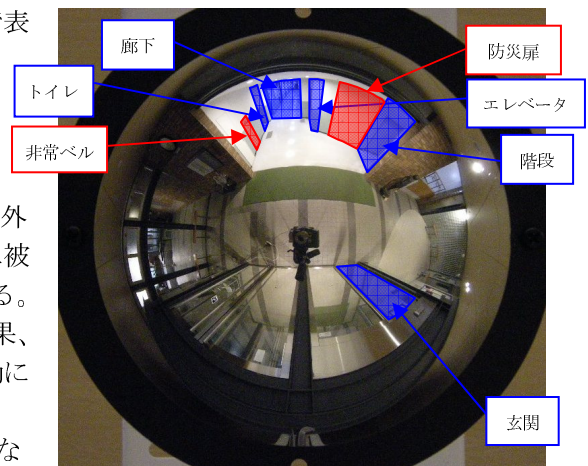


図 4 全方位画像と行動パターン先の場所

軽装をしてもらい、被験者 B、D には、冬場の厚手のジャンパーを、被験者 B はさらにマフラーも着用してもらった。各々違う服装でシステム検証を行ったが、正常にシステムが働いた。

しかし、ほとんどの行動で RNN が 2 つ以上正常と判断している。これは、類似した行動パターン同士では、特徴点のデータが似ているため、例外行動の閾値を上回らず、違う行動パターンの RNN でも正常と判断しているからである。しかし、本研究では、行動分類を行っているわけではないので、本法では特に問題ではない。

不審行動では、被験者 A、C に関しては、100%検出できた。角度に関しては、事前に設定した範囲内にすべての人物が存在していることが分かった。一方で、防災扉までの距離 5.3m に対して、被験者 B は実空間距離が 2.6m と短くなる結果になった。被験者 D でも実空間距離が 2.4m と短くなる結果になった。これは、人物の頭部分が全方位温度画像では小さく写っていたことが原因だと考えられる。そのため、全方位画像での縦の座標がずれて間違った距離を出したと考えられる。

表 1 各行動パターンと例外行動の閾値

No.	行動パターン	閾値
①	玄関から階段	0.0006
②	玄関からトイレ	0.0006
③	トイレから玄関	0.0007
④	玄関からエレベータ	0.0053
⑤	エレベータから玄関	0.009
⑥	階段から玄関	0.0005
⑦	玄関から廊下	0.0011
⑧	廊下から玄関	0.025
⑨	トイレから階段	0.00035
⑩	階段からトイレ	0.00035
⑪	エレベータからトイレ	0.0003
⑫	トイレからエレベータ	0.00005

表 2 被験者 A での学習行動パターン結果

		RNN											
被験者 A		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
行動 パ タ ー ン	①	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	②	4	4	4	0	4	4	2	4	4	4	4	4
	③	4	4	0	4	0	4	4	4	4	4	4	4
	④	4	4	4	0	4	4	0	4	4	4	4	4
	⑤	4	4	0	4	0	4	4	4	4	4	4	4
	⑥	4	2	4	4	4	0	4	4	4	4	4	4
	⑦	4	4	4	0	4	4	0	4	4	4	4	4
	⑧	4	4	0	4	0	4	4	4	4	4	4	4
	⑨	4	4	0	4	0	4	4	0	0	4	4	4
	⑩	4	4	4	4	0	4	0	4	4	0	4	4
	⑪	4	0	0	4	0	4	0	0	4	4	0	4
	⑫	4	4	0	4	0	4	4	0	0	4	0	0

8. 結論

被験者 4 人に対して、本システムの有用性を検証できた。また、玄関を日常出入りする 120 人の行動データをリアルタイムに処理したところ、ほぼ 100%の結果を得られることができた。

今後は、現状の行動パターンより複雑な経路にも対応する必要がある。そして、実験環境中に複数人が存在した場合でも、処理ができるシステムを構築し、さまざまな実験環境で本システムの有用性を検証することが必要である。

参考文献

- [1] 成松 英一, 小枝 正直, 上田 悦子, 松本 吉央, 小笠原 司, “全方位サーモグラフを用いた不審者発見システムの開発”, 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解 104(447), 19-24, 20041111