

# 巡回警備ロボットのための赤外線カメラを用いた人間検出

## Human detection using thermography for Patrol Robots

尾形 一気 (筑波大) 正 大矢 晃久 (筑波大)

Kazuki OGATA, Univ. of Tsukuba, ogata@roboken.esys.tsukuba.ac.jp

Akihisa OHYA, Univ. of Tsukuba

In this research, the purpose is making system of detecting human by using the thermography for Patrol Robots. Because they have different temperature between human and the environment, we can detect human by the thermography. We found the way to decide the range of temperature automatically to clip out the image of human from the thermography. And, We suggested the way to cut the elements beside human and proved the effect by experiment.

**Keywords:** vision sensor, human detection, thermography, patrol robots

### 1. はじめに

#### 1.1 研究背景

施設内の巡回警備を行うことは、不審者の侵入を早期発見または抑止するために重要なことである。巡回警備は通常、人間の警備員によって行われているが、少子高齢化に伴う警備員の人員不足や犯罪の凶悪化による警備員の受傷事件の防止の観点から、ロボットに警備を行わせることが求められている。ロボットによる巡回警備を実現するためには、火災や漏水といった施設内の異常を発見する機能、侵入者を発見する機能が必要になる [1]。本研究では、中でも人間が巡回警備を行う際に高いリスクを伴うと考えられる侵入者の発見を実現するための技術を開発することを考えた。

#### 1.2 研究目的

ロボットが侵入者を発見するためには「人間を認識する」技術が必要になる。既存の研究や、実用化されている警備ロボットではレーザー距離センサやカメラなどを用いて人間検出や異常検知が行われているが [1]、レーザー距離センサでは物体の全体像を捉えることは難しく、カメラは明暗の影響を受けやすい点が問題になっている [2]。そこで本研究では、非接触で対象物の表面温度を観測することができる赤外線カメラ（サーモグラフィ）を用いて人間認識を実現することを考えた。人間の体温は年間を通して 36 前後に保たれているので、温度情報を元に人間を認識できると考えられる。ゆえに本研究では赤外線カメラを利用して人間検出を行うための技術の開発を目的とする。

### 2. 実験装置

#### 2.1 赤外線カメラ

本研究では NEC Abio 赤外線テクノロジー製の赤外線カメラ NeoThermoTVS-610 を使用する。赤外線カメラの外観を図 1 に、仕様を表 1 に示す。このカメラには、観測対象物から放射される赤外線放射エネルギーを検出することができる熱型のボロメータと呼ばれる熱量計が使われていて、ボロメータには常温でも使用できるという特徴がある [3]。そのボロメータ 320 × 240 個を敷き詰めるようにして検出器を構成することで、視野内の物体表面から放射される赤外線を検出している。そして、検出された赤外

線放射量を温度に変換することで温度分布を画像表示することができる（温度分布を表示した画像のことを以下では熱画像と呼称する）。

この赤外線カメラは付属の液晶画面に表示される映像を見ながら使用することを前提としているが、出力されるアナログ映像信号を PC などの外部機器で利用することもできる。本研究では、アナログ映像信号を変換し、PC に取り込むことで画像処理を行うこととした。

Table 1: Specification of NeoThermoTVS-610

Measuring range	-15 ~ 300
Accuracy	± 2
Resolution	0.1
Detector	Uncooled focal plane array (microbolometer)
Spectral range	8 ~ 14 μ m
Field of view	25.8 ° (H) × 19.5 ° (V)
Thermal image pixels	320(H) × 236(V)
Video signal output	NTSC/PAL
Frame time	30 frames/s
Dimension	W115mm,D217mm,H142mm
Weight	2.6kg



Fig. 1: NeoThermoTVS-610

## 2.2 アナログ to IEEE1394 コンバーター

赤外線カメラからは NTSC 規格のアナログ映像信号が出力されるので、PC で画像を取得するためにはデジタル信号に変換する必要がある。そこで本研究ではアナログ映像信号をデジタル信号に変換するために、The Imaging Source 社の Video to IEEE1394 コンバーターを使用する。図 2 に外観を、表 2 に仕様を示す。

このコンバーターは NTSC 規格のアナログ信号を非圧縮で IEEE1394 規格のデジタル信号に変換可能であり、30 フレーム/秒に対して最大解像度 640 × 480 の入力画像を変換、出力することができる。

Table 2: Specification of Video to IEEE1394 converter

Video formats	NTSC/PAL
Analog input	RCA × 2 Y/C(S-Video) × 1
Bus interface	IEEE1394-1995/1394a,6pin
Color formats	UYVYS, RGB32, RGB24, Y800
Dimension	W32mm × D58mm × H95mm
Weight	165g



Fig. 2: Video to IEEE1394 converter

## 3. 熱画像から人間を検出するための手段

熱画像から人間を検出するためには、撮影した熱画像中に人間が写っているかどうかの判別をすることが必要となるため、熱画像から人間に該当する要素を抽出することを考えた。熱画像の撮影実験から、屋内であれば背景と人間との間に明確な温度差があることが確かめられた。そこで本研究では、まず熱画像における輝度差を手がかりにして人間の抽出を行う。

熱画像中のある温度範囲に注目することで人間に該当する部分を抽出できると考え、まず任意の温度範囲の情報を抽出するためのプログラムを作成した。0~255 の値で表面温度が表現されている熱画像から、指定した温度範囲に該当する値を持つ画素を抜き出すことで、任意の温度を持つ要素を抽出することができる。具体的には図 3 の例に示すように、熱画像中の抜き出し温度範囲に該当する画素を 0、それ以外の画素を 255 にするという二値化処理を施すことで注目する温度情報の抽出を行う。

巡回警備ロボットに搭載する人間検出システムを考えた場合、ロボットが移動して部屋や建物の階が変わった際に環境の温度が変化することが考えられるので、どの温度範囲に注目するかを自動的に決定できることが望ましいと言える。そこで本研究では、注目温度範囲を決めるために次のような方法を提案する。

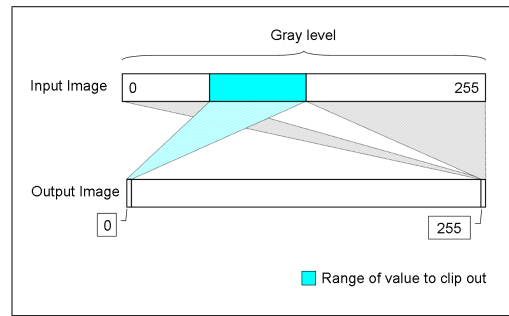


Fig. 3: Handling image to clip out certain range of numerical value

### 3.1 注目温度範囲の決定方法

本研究では、屋内環境であれば壁や床などは室温に近い温度に保たれていて、「背景と人間の間に明確な温度差があり、背景の温度分布がほぼ一様である」という特徴を利用して注目温度範囲を決定する方法を考えた。そこで、まず背景となる屋内の壁や床などがどのような温度分布で観測されるのかの調査を行った。同一の部屋で撮影した熱画像の温度分布を調べると、壁や床の温度は概ね 2 の範囲に集中して観測される事がわかった。その結果から、2 程度の温度範囲に背景が記録されており、さらに人間などの前景よりも背景の面積が明らかに大きいと考えられる。そのため、2 程度の範囲に該当する面積が最も大きくなる位置を探することで、注目する温度範囲を決定する方法を考えた。

赤外線カメラの熱画像を入力画像として、以下のような処理で注目温度範囲を決定し、抽出を行う。なお、具体的な画素値は実験的に決定した。

- 1) 画素値の数と同じ 256 個のピンを作り、入力画像のヒストグラムを求め。
- 2) ヒストグラムの度数を足し合わせていき、図 4 のような入力画像の累積ヒストグラムを作成する。
- 3) 累積ヒストグラム中で、画素値が 13(2.6 に相当) 離れた 2 点間の変化量が最大になる 2 点を求める (図 4 中の青色の 2 点)。
- 4) 求められた 2 点の内、値の大きい方を下限点と定め、下限点から画素値 49(10 に相当) の範囲を注目温度範囲とする (図 4 中の赤線で挟まれた区間)。
- 5) 前述の二値化処理を行うことで、注目温度範囲の画素を抽出する。

図 12 を入力画像として、この手法を用いて注目温度範囲を決定し抽出した画像を図 13 に示す。図 13 を見ると背景部分を概ね除去できているが、ノイズのような小さい点や、蛍光灯などの壁や床よりも高い表面温度を持つ部分が写り込んでいることが確認できる。熱画像から人間のみを抽出する事を考えると、人間とそれ以外の物体を区別するための方法が必要だと言える。そこで本研究では、二値化画像から人間以外の要素を削除していくことで、最終的に人間のみを抽出することを考えた。

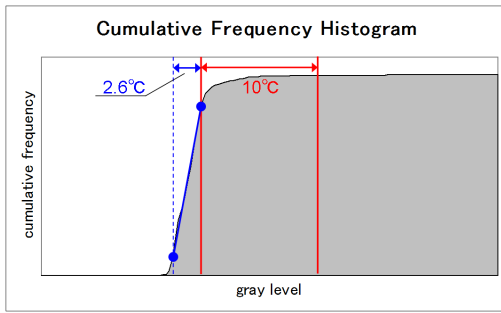


Fig. 4: Example of Cumulative frequency histogram

### 3.2 人間以外の要素を削除する方法

二値化画像に写っている人間とそれ以外の物体の区別を行う前に、まずはつながり合っている要素を一まとまりのグループとして識別する。二値化画像の全画素を走査し、値が0の画素に周囲8近傍の画素と同じラベルが付くようなラベリングを行う。そして同一のラベルが付いている画素すべてを包括する長方形を描くという処理を行う。これによって繋がりがあっている値が0の画素をそれぞれのグループとして分けるラベリングを実現した。

図5~10には、二値化した熱画像の要素をラベリングし、矩形を描画した画像を示す。ラベリングをした要素と、包括する矩形の情報を用いて、各要素が人間であるか否かの判断を行うために以下のような4つの基準を考案した。

Table 3: The features of form per posture

姿勢	占有率	縦横比	直線長率	直線率
前向き直立	62.7%	2.9	0.34	0.31
横向き直立	64.8%	5.2	0.22	0.61
大の字	29.2%	1.3	0.25	0.18
長座	40.2%	1.0	0.84	0.21
四つん這い	43.0%	1.4	0.45	0.11
うずくまる	59.7%	1.4	0.59	0.15

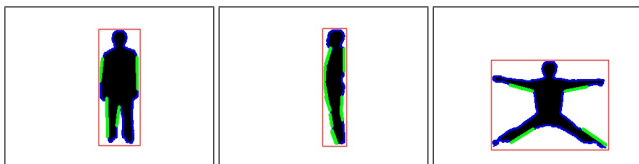


Fig. 5: upright-forward

Fig. 6: upright-sideways

Fig. 7: sprawl

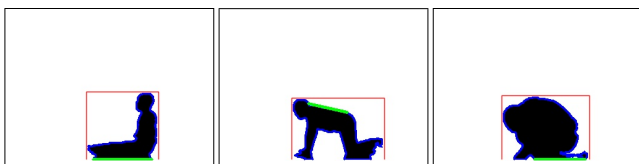


Fig. 8: sitdown-sideways

Fig. 9: on four limbs

Fig. 10: squat

### 3.2.1 要素の大きさ

警備ロボットにおける人間検出ということ考えると、遠方からも人間を発見できることが望ましい。25m離れた人間の像の大きさが約1000ピクセルであったことから、200以下の大きさを持つ要素はノイズであると判断し削除することとした。

### 3.2.2 要素を囲む矩形の占有率

円形や方形など、その形状に起伏が極端に無い要素は人間ではないと言える。そこで、要素と矩形の形状の違いを手がかりにすることで、人間以外の要素を判別することを試みた。

要素の面積を、要素を囲む矩形の面積で割った値を、要素を囲む矩形の占有率と定める。正面向きで直立(図5)、横向きで直立(図6)、大の字(図7)、長座(図8)、四つん這い(図9)、うずくまる(図10)といった様々な姿勢で人間を撮影した時に、占有率がどのような値になるのかを調べた。その結果、表3に示すように、占有率は30%~65%程度の範囲に収まる事が実験的に求められた。それに余裕を持たせ、25%以下もしくは75%以上の占有率を持つ要素は、人間ではないと判断して削除することとした。

### 3.2.3 要素の縦横比

極端に縦や横方向に長い要素は、人間ではないと言える。そこで、要素を囲む矩形の辺の長さを手がかりにすることで、柱のような物体が写り込んだ時に区別することができるのではないかと考えた。

要素を囲む矩形の長辺の長さを短辺の長さで割った値を要素の縦横比として定める。表3に示すように様々な姿勢の人間について縦横比を求めると、縦横比は最大で5程度であることがわかった。個人の体格によっても多少の変化が考えられるので、10以上の値を持つ場合には人間ではないと判断して削除することとした。

### 3.2.4 要素の輪郭線情報

床や壁などの背景よりも表面温度が高く、二値化画像に写り込むと考えられるのは、液晶ディスプレイや電灯などの人工物であることが予想される。液晶ディスプレイのような幾何学的な形状をした要素の輪郭は、多くの長い直線で構成されていると考えられるため、形状の特徴を利用して人間ではない要素を判別する方法を考案した。

OpenCVのcvFindCoutour関数を用いて、矩形で囲んだ要素一つ一つの輪郭線を検出する。さらにcvHoughLines2関数を用いて、確率的ハフ変換を行うことで要素の輪郭線から線分を検出する[5]。様々な姿勢を写した熱画像を二値化した図5~10において、検出された輪郭線を青線で、線分を緑線で描画してある。

ここで、検出された線分の合計長を、輪郭線の長さで割った値を直線率と定める。また、検出された最長線分の長さを、要素を囲む矩形の長辺の長さで割った値を、直線長率と定める。表3に示すような姿勢について直線率と直線長率求めた結果、その値が同時に0.4を超えるような場合がないことが実験的に確かめられた。そこで、直線率と直線長率が共に0.4を超えている要素を人間ではないと判断し、削除することと定めた。

## 4. 提案手法の効果を示す実験

提案した手法の効果を確かめるための実験を行った。蛍光灯、液晶ディスプレイ、ヒーターといった人工物と人間を同時に撮影



し、熱画像から人間のみを抽出できるかを確かめた。赤外線カメラで撮影した熱画像をそれぞれ図 12, 16, 20 に、二値化画像を図 13, 17, 21 に示す。

図 13 の二値化画像に見られるノイズのような小さい要素は大きさの基準で、蛍光灯などの要素は占有率の基準で人間ではないと判断し削除されたため、図 14 では人間の要素のみを抽出できていることがわかる。また、図 17, 21 にもそれぞれ二値化画像に写り込む人工物が見られる。ディスプレイやヒーターなどの要素は、多くの長い直線で構成される形状を持つため、輪郭線の基準から人間ではないと判断され、図 18, 22 に示すように削除されている。

この実験より、二値化をすることで人間の要素を抽出できると、人間以外に写り込む要素を削除できることが確かめられた。

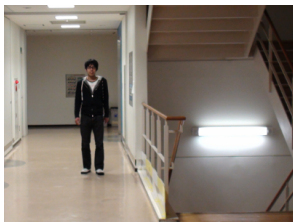


Fig. 11: Image of Human and Light

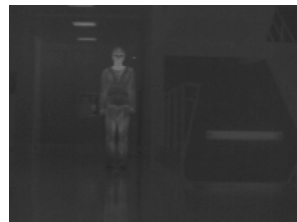


Fig. 12: Thermography of Fig.11



Fig. 13: Binary Image of Fig.12



Fig. 14: Detection Image of Fig.13

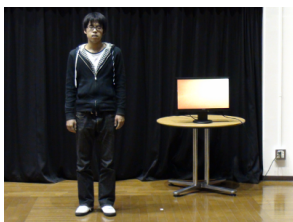


Fig. 15: Image of Human and LCD



Fig. 16: Thermography of Fig.15

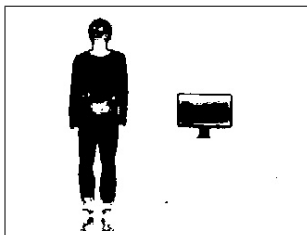


Fig. 17: Binary Image of Fig.16

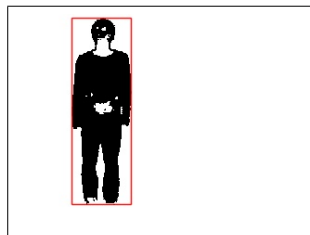


Fig. 18: Detection Image of Fig.17

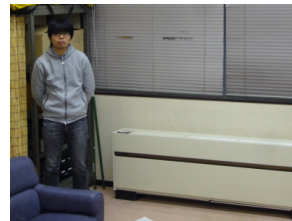


Fig. 19: Image of Human and Heater

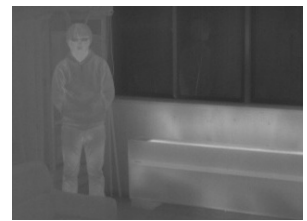


Fig. 20: Thermography of Fig.19

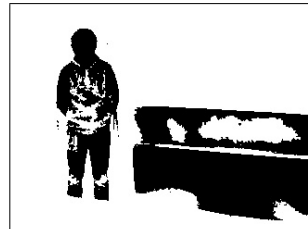


Fig. 21: Binary Image of Fig.20

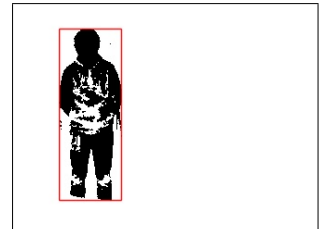


Fig. 22: Detection Image of Fig.21

## 5. おわりに

### 5.1 まとめ

屋内環境であれば、背景の温度分布が狭い範囲に集中して観測されるという特徴を利用して、熱画像から人間を抽出するために適切な温度範囲を自動的に決定する手法を考案した。次に、ディスプレイや蛍光灯など、表面温度が高く抽出画像に写り込む人間以外の要素を削除することで、最終的に人間と思われる要素のみを取り出すことを考え、人間か否かの判断をするための、要素の形状に関する基準を提案した。

そして、赤外線カメラで代表的な人工物と人間を同時に撮影する実験を行い、熱画像から最終的に人間のみを抽出できる事を確かめた。

### 5.2 今後の課題

今後は、赤外線カメラをロボットに搭載し、移動することの利点を活かした人間検出手法を考案する。そして、測域センサなど他の外界センサと組み合わせて使用する事や、検出された人間の姿勢、動作を判別する事の可能性を検討していきたいと考えている。

## 参考文献

- [1] 総合警備保障株式会社, [http://www.alsok.co.jp/corporate/robot/reborg\\_q.html](http://www.alsok.co.jp/corporate/robot/reborg_q.html)
- [2] 室谷竜弘, 大矢晃久, 油田信一: "固有空間法を用いた警備ロボットのための異常検出", 日本機械学会・ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH'00), 1P1-68-098, 2000-5.
- [3] 久野治義: 「赤外線工学」, 電子情報通信学会, 1994.
- [4] NEC Avio 赤外線テクノロジー株式会社, <http://www.nec-avio.co.jp/>
- [5] Gary Bradski, Adrian Kaehler, 松田 晃一: 「詳解 OpenCV コンピュータビジョンライブラリを使った画像処理・認識」, オライリージャパン, 2009.