

77B-05 深層学習を用いた新生児熱画像の部位検出に基づく体温抽出手法の提案

別府 文香*¹ 吉川 寛樹*¹ 内山 彰*¹ 東野 輝夫*^{1,2} 濱田 啓介*^{3,4} 平川 英司*⁵*¹ 大阪大学 大学院情報科学研究科*² 京都橘大学 工学部情報工学科*³ 長崎みなとメディカルセンター 臨床工学部*⁴ 長崎大学 大学院医歯薬学総合研究科*⁵ 鹿児島市立病院 新生児内科

図 1: データ収集環境

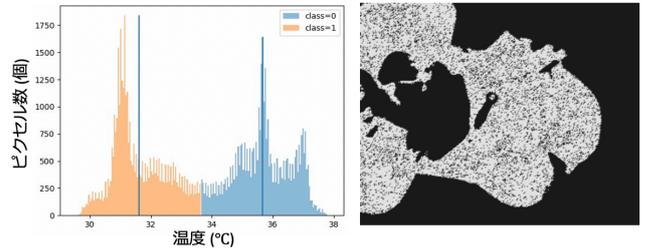


図 2: 熱画像の温度分布 (左) とクラスタリング結果 (右)

1 はじめに

新生児は体温調節機能が未熟で外気の影響を受けて体温が変動しやすいため、保育器を適切な温度に保つことが重要である [1]。多くの医療現場では、プローブで測定した体表温度及び保育器内温度を基に、医療者が手動で保育器温度を調節している。しかし、新生児は皮膚が未熟で動きが活発なため、皮膚に貼り付けたプローブが脱落しやすく、安定した体温測定を継続することが難しい。

非侵襲的で信頼性の高い皮膚温測定のために、近年、サーモグラフィが注目されている。サーモグラフィは保育器内に設置するため、新生児に違和感やストレスを与えずに長時間の安全な測定が可能である。

そこで我々の研究グループでは、図 1 のような環境下で撮影した新生児熱画像から、YOLOv5 [2]* を基に、頭部、胸部、左右の上肢及び下肢の 6 つの部位を検出する手法を提案している [3]。本稿では、提案手法を用いた体表温度測定の有効性を確認するため、検出矩形から首元温度と末梢温度を抽出する手法を提案する。

2 提案手法

提案手法の概要を図 3 に示す。医療者による介入中である画像を CNN による二値分類で取り除いた上で、YOLOv5 を用いて構築した部位検出モデルにより頭部・胸部・左右の上肢及び下肢の 6 箇所の部位検出を行った。サーモグラフィによる体温測定を実現するためには、この部位検出結果に基づき、さらに各部位の体表温度を抽出する必要がある。このため、本研究では検出矩形から首元温度と末梢温度を抽出する手法を設計した。

首元温度の抽出には、頭部と胸部の検出矩形を使用する。サーモグラフィの位置は固定されており、新生児の頭部は常に熱画像の右側に位置するため、首元は頭部と胸部の間にあると仮定し、首元の中心座標 c_n を以下のように定義する。

$$c_n = \frac{l_h + r_t}{2}$$

ここで、 l_h と r_t は、それぞれ頭部矩形の左辺の中点と胸部矩形の右辺の中点を示す。首の領域は、 c_n を中心とした高さ 60 ピクセル、幅 20 ピクセルの矩形で定義する。最後に、首領域の温度分布の上位 25% の平均値を首元温度として取

得する。これは、首元温度は深部体温と相関があることが知られており、他の部位と比較して高い傾向を示すためである。

末梢温度の抽出には、上肢・下肢の検出矩形を使用する。首元温度と違い、検出矩形には毛布や医療機器などの新生児ではない領域が含まれるため、矩形内の体表のみの温度分布を抽出する必要がある。

検出矩形内の体表領域を抽出するため、固定の閾値を設定する方法も考えられるが、新生児によって体温差があるため、一概に閾値を決めることができない。また、矩形の大きさは検出結果によって変化するため、矩形内に含まれる体表領域の割合も変化する。このため、首元温度の抽出と同様に温度分布の上位一定割合を体表温度として抽出する手法は適切でない。そこで、我々はクラスタリングを用いて、高温/低温クラスタの 2 種類に分割を行い、高温クラスタの平均値を当該部位の温度とすることで背景と新生児の分離を試みる。クラスタリング手法として軽量の k-means 法を適用する。k-means 法の評価関数 E は以下の式で定義する。

$$E = \sum_{x_j \in X} \min_{i \in k} \|x_j - c_i\|^2$$

ここで、 X は総数 n のデータ集合で、 c_i はクラスタに属するデータの平均である。新生児とそれ以外を分離するため、クラスタ数 k は 2 に設定する。k-means 法では、 c_i から各データ $x_j (j = 1, \dots, n)$ の距離の総和、つまり評価関数 E が最小となるような c_i を、クラスタに変化がなくなるまで繰り返し求める。これにより、類似した温度を持つピクセルが同一クラスタに統合され、結果として背景と新生児が分割される。図 2 に、クラスタリング結果の例を示す。class=0 に分類されたクラスタは温度が低く、class=1 に分類されたクラスタは温度が高いため、class=1 は新生児の体表部である可能性が高い。クラスタリングを用いて高温/低温クラスタの 2 種類に分割を行い、部位検出結果の矩形内の高温クラスタの平均値を当該部位の温度とすることで、背景のような低温の領域を除外し、体表の温度分布を取得できる。

3 性能評価

新生児の全身が熱画像内に収まるよう、サーモグラフィは保育器上部に設置し、13 名の新生児から熱画像 400 枚を取得した。

図 4 に、検出結果を基に決定した首領域の矩形と抽出温

*<https://github.com/ultralytics/yolov5>

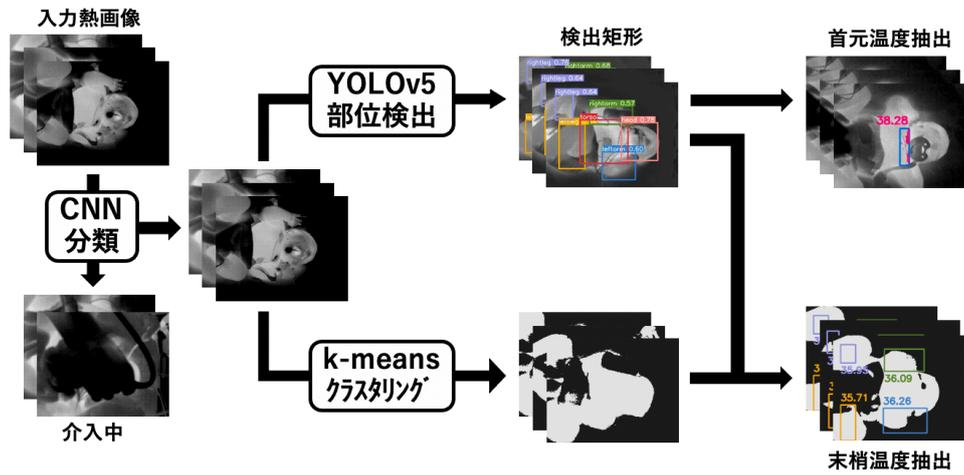


図 3: 提案手法の概要

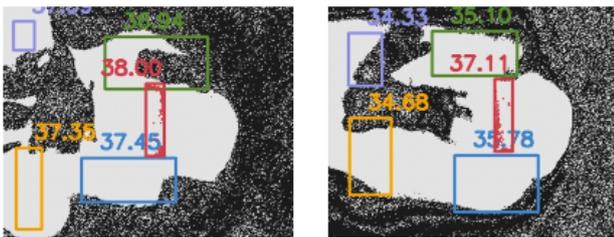


図 4: 温度抽出の結果

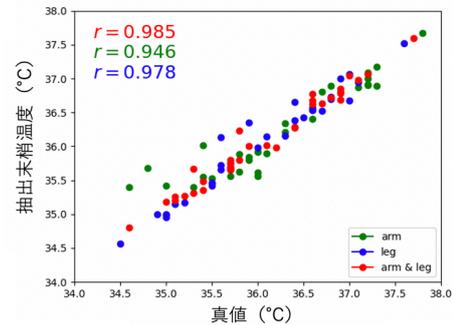


図 6: 抽出末梢温度と真値との相関

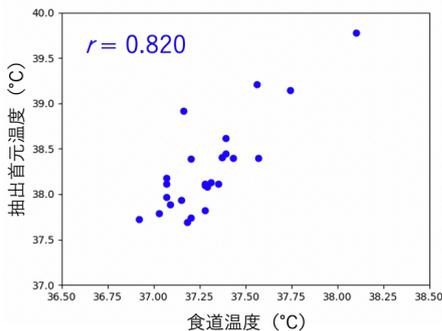


図 5: 抽出首元温度と食道温度との相関

度の例を示す。首元温度においては温度分布の上位 25% のピクセルをプロットしているが、ほとんどが首周りに集中していることが分かる。取得画像のうち、同時に食道温度の測定が行われていた 26 枚の熱画像を用いて、食道温度と抽出した首元温度の相関を調べた結果を図 5 に示す。評価結果より、相関係数は 0.820 となり、両者に強い正の相関が見られた。

また、図 6 に、抽出した末梢温度と真値の相関を示す。各部位の温度の真値は、検出矩形内の体表部分を目視で判別することで行った。相関係数は、上肢が 0.946、下肢が 0.978、四肢が 0.985 となり、非常に強い正の相関が見られた。

次に、真値との温度差について考察する。クラスタリングの効果を確認するため、矩形内の平均温度を取得した場合との比較を行った。その結果、矩形内平均温度の平均温度差は 0.48°C となった。これは、検出矩形内に背景として映り込む毛布など、新生児以外の低温度箇所も含まれていることが原因であると考えられる。一方でクラスタリングを適用した場合は、平均温度差は 0.03°C となり、矩形内平均

温度を用いた場合と比較して誤差を抑えることに成功した。

以上の結果より、提案手法を用いて各部位の体表温度を高精度に抽出できることがわかった。

4 おわりに

本研究では、深層学習を用いた熱画像における新生児の身体部位検出手法及び体温抽出手法を提案した。性能評価の結果、検出部位を基に抽出した首元温度と食道温度との相関係数は 0.820 であった。末梢温度においては、k-means 法を用いたクラスタリングを適用することで背景を除外した上で末梢部位の温度分布を抽出した。抽出温度と真値との相関係数は 0.985 となり、両者に非常に強い正の相関が見られた。今後、取得した複数部位の温度を基に、身体内部の温度である深部体温推定法の検討や、適切な保育器温度制御への応用を検討する予定である。

参考文献

- [1] Robin B. Knobel. Thermal stability of the premature infant in neonatal intensive care. *Newborn and Infant Nursing Reviews*, Vol. 14, No. 2, pp. 72–76, 2014.
- [2] Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, and Ali Farhadi. You only look once: Unified, real-time object detection. In *Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 779–788, 2016.
- [3] 別府文香, 吉川寛樹, 内山彰, 東野輝夫, 濱田啓介, 平川英司. 深層学習を用いた熱画像における新生児の身体部位検出手法の検討. 情報処理学会研究報告, Vol. 2021-MBL-98, No. 2, pp. 1-2, 2021.