

食肉処理ロボットシステムにおける認識技術の開発 —第2報：深層学習による豚枝肉分割位置の検出—

Development of Recognition Technology for Meat Processing Robot System - Report 2: Detection of Cut Points for Pork Carcass Using Deep Learning-

○正 野明 智也 (前川製作所) 平山 潤太 (前川製作所)
正 山下 智輝 (前川製作所) 徳本 大 (前川製作所)
日野 和睦 (前川製作所) 豊嶋 勝美 (前川製作所)

Tomoya NOAKE, Mayekawa MFG. Co., Ltd. tomoya-noake@mayekawa.co.jp
Junta HIRAYAMA, Mayekawa MFG. Co., Ltd.
Tomoki YAMASHITA, Mayekawa MFG. Co., Ltd.
Masaru TOKUMOTO, Mayekawa MFG. Co., Ltd.
Kazuchika HINO, Mayekawa MFG. Co., Ltd.
Katsumi TOYOSHIMA, Mayekawa MFG. Co., Ltd.

Automation of the meat processing is highly desired due to dangers of using sharp cutting tools and involves heavy labor. In this study, we aim to implement the highly accurate method for cut point detection by integrating deep learning in the recognition unit of a meat processing system. The newly developed key point detection method which infers feature point from surrounding patterns was used for detecting cut point in the prime cut process. First, we conducted the preliminary examination of key point detection using existing datasets. However, the detection accuracy was low due to many errors in the teaching points, so we optimized the imaging system and teaching points. As a result, the accuracy of detection was improved to 97.2% from 63.6% at maximum.

Key Words: Deep Learning, Image Recognition, Meat Processing Robot

1. 緒言

食肉センターの豚部分肉製造工程は、長年にわたり熟練作業者の手作業で行われてきた。しかし、近年は作業者の高齢化、後継者不足、低い定着率といった状況から、生産性や品質の低下が問題となっている。さらに食肉処理工程は、刃物を扱うことから危険を伴い、かつ重労働であることから自動化が強く望まれている。

食肉は工業製品と異なり形状の個体差が大きいいため、食肉処理工程を機械に置き換えるためには対象の状態を認識することが他の産業分野以上に必要不可欠となる。このような背景から、筆者らの所属先では、食肉処理ロボットシステムにおいて深層学習と画像処理を併用して不定形な対象の形状や特徴点を認識する技術開発に注力してきた^[1]。一方、以前開発した豚部分肉大分割装置(図1参照)では、分割位置の検出に画像処理の適用を試みたが^[2]、生産工場の不安定な照明条件や対象の個体差などに対応できず、実用に耐えうる検出精度が得られなかったことから、現在は人手による分割位置の教示に

頼っている。しかしながら、単純作業の長期化による作業者の疲労、ならびに人件費削減の観点から、教示作業の省力化、無人化がユーザ側から強く求められている。

そこで本研究では、豚部分肉大分割装置の分割位置検出に深層学習を導入することで、ロボストで精度の高い分割位置検出手法の確立を目的とする。今回は、キーポイント検出と呼ばれる画像中の特徴的なポイントを周囲のパターンから推測する手法を用いて、分割位置の検出を試みたので以下に報告する。

2. 豚部分肉大分割装置について

大分割工程とは豚を正中線に沿って半割した豚枝肉を、かた部位、ロースバラ部位、もも部位に3分割する工程である。図2に豚枝肉が分割された後の状態を示す。豚部分肉大分割装置ではこの分割工程を、豚枝肉の後ろ足をつるした状態で、回転する丸刃カッターとナイフを持ったロボットによって行う。分割位置は、かた部位・ロースバラ部位の分割工程(以下、前軀)は第4肋骨と第5肋骨の間(以下、肋骨の4-5間)としており、ロースバラ部位・もも部位の分割工程(以下、後軀)は最後腰椎下側の椎間としている。

これまでに前軀分割位置検出を検討した際には^[2]、青色光照明による筋起発光と画像処理を組み合わせる肋骨の4-5間検出を試みたが、1本目の肋骨が肉に隠れて見えない場合と見え

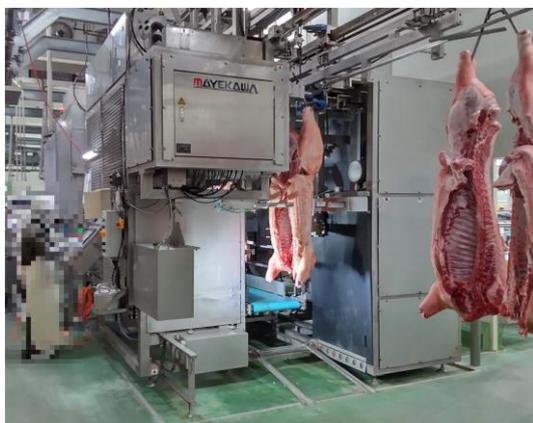


Fig.1 Processing machine for the prime cut process



Fig.2 Processed pork carcass

ている場合の判別が困難であり、検出精度が上がらず実装には至らなかった。後躯分割位置検出として、分割位置に人手で切込みを入れ、その位置を画像処理で検出する手法を実装したが、豚の個体差や骨部位への肉・脂肪の付着により、検出精度が低下するという問題があった。

上記の背景から、豚部分肉大分割装置では撮像した枝肉の画像を GUI 上で作業者に提示し分割位置を教示する方式としている。

3. 深層学習を用いた分割位置検出

分割工程の完全自動化にはロボストで精度の高い分割位置検出手法の確立が求められる。食肉処理工程で重要なポイントを導出するために深層学習を利用する試みは前報にて報告しており、多目的型食肉処理ロボットシステムでは深層学習手法の一つであるセマンティックセグメンテーションによる領域抽出と 3 次元画像処理を組み合わせることでカットポイントの導出をしている^[3]。この手法は、高い精度でポイントを導出できることが利点であるが、抽出したい領域を 1 枚ずつ塗り絵のように塗りつぶした教師データが必要となるなど、開発コストが高いことが課題である。

そこで、今回はキーポイント検出^[3]と呼ばれる手法の導入を検討した。この手法は物体検出や人の姿勢推定に用いられる手法であり、画像中の特徴的なポイントを周囲のパターンから推測するため、領域抽出を経由せずにポイントを導出することができる。このため、学習に必要な教師データは導出したい分割位置の座標でよいと、これまで蓄積した教示データを流用でき、開発コストが抑えられると考えられた。

3.1 既存データを活用したキーポイント検出の事前検討

キーポイント検出の導入にあたり、すでに客先に納入している豚部分肉大分割装置で撮像していた画像と、作業者が教示した分割位置の座標データを使用して精度検証を行った。前躯の教示点を図 3 に、後躯の教示点を図 4 に示す。左右それぞれの枝肉に対して、前躯は図 3 中の 1-4 に示す肋骨の 4-5

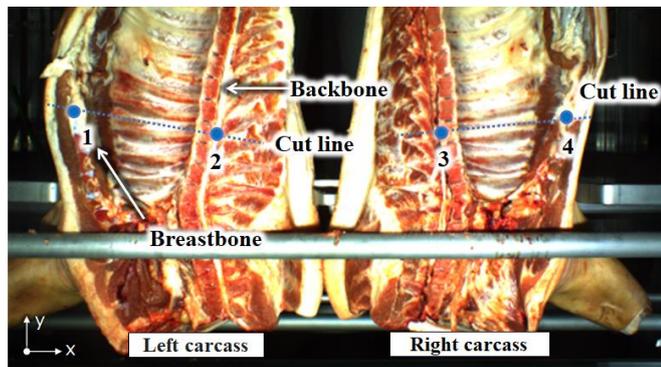


Fig.3 Points for Prime cut (Forequarter - Middle)

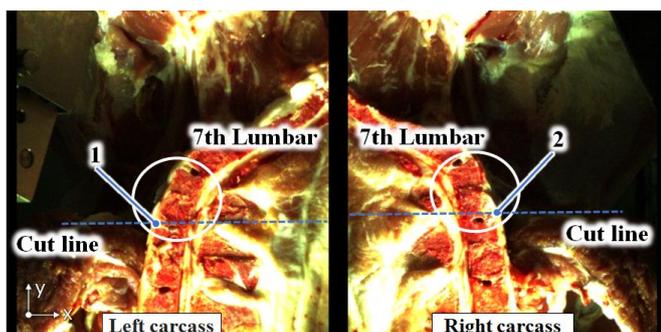


Fig.4 Points for Prime cut (Middle - Leg)

間上の背骨および胸骨を、後躯は図 4 中の 1, 2 に示す最後腰椎下側の椎間を教示点としている。

学習に使用するネットワークモデルとして HRnet^[3]を採用し、入力データには RGB 画像と分割位置の座標データを使用した。表 1 に事前検討で前躯と後躯の学習に使用したデータセットの詳細を示す。座標データは学習を行う際に座標を中心としたガウス分布に変換している。また、今回の客先の場合は、カット工程の都合上右枝の胸骨側の教示データが存在しないため、前躯の教示点は 3 点となっている。深層学習ライブラリには pytorch(Version 1.4.0)を使用し、表 2 に示す PC 環境で学習を実施した。

以上の条件で学習したキーポイント検出モデルを用いて、テスト画像に対して推論を実施し、その精度を評価した。評価の際には教示点を正解座標として推論座標との誤差を算出し、 ± 5 [mm]の範囲に何%収まるか確認した。カット工程において y 軸方向の精度が特に重要であるため、y 軸方向の誤差のみで評価している。結果を表 3 に示す。事前検討における前躯の検出精度は左枝の胸骨側が 63.6%と最も低く、最も精度の高い点でも 82%とあまり精度が高くない結果となった。精度が高くない原因の一つとして、教示点に揺れが生じていることがあげられる。教示を行う作業者は日ごとに交代するため、人によって教示点に微妙な違いが生じている。また、前躯の画像は人の目で見ても肋骨の 4-5 間を見誤ることがあり、間違っただけを教示してしまうこともある。これに対して、後躯の検出精度は 95%を超えており良好な結果となっている。これは、後躯の教示点が明確で人の目で見てもわかりやすく、オ作業による教示点の揺れが起きにくいとためだと考えられる。

Table 1 Datasets for learning on Pre-examination

対象	前躯	後躯
画像形式	RGB	RGB
取得画像サイズ[pix]	2448×2048	480×640
学習時の画像サイズ[pix]	1024×1024	512×512
学習枚数	3431枚	2879枚
テスト枚数	1480枚	1039枚
教示点	1. 左枝肋骨の4-5間上の胸骨 2. 左枝肋骨の4-5間上の背骨 3. 右枝肋骨の4-5間上の背骨	1. 左枝最後腰椎 2. 右枝最後腰椎

Table 2 PC configuration used for learning

Memory	125.6 GiB
Processor	Intel Xeon® Gold 5220R CPU @ 5 v3 @ 2.20GHz * 96
GPGPU	Quadro RTX 8000/PCIe/SSE2
OS	Ubuntu 18.04.4 LTS 64-bit

Table 3 Accuracy of keypoint detection

検出ポイント		検出精度	
		事前検討	最適化後
前躯	1. 左枝肋骨の4-5間上の胸骨	63.6%	97.2%
	2. 左枝肋骨の4-5間上の背骨	82.0%	99.2%
	3. 右枝肋骨の4-5間上の背骨	78.7%	99.3%
	4. 右枝肋骨の4-5間上の胸骨	—	96.2%
後躯	1. 左枝最後腰椎	95.5%	98.2%
	2. 右枝最後腰椎	98.1%	96.5%

3.2 キーポイント検出の精度向上に向けた取り組み

上述のように、事前検討ではキーポイント検出を導入したが、前駆の検出精度が高くない結果となった。教示点の揺れや誤りが原因として考えられるため、撮像系を最適化し新たに撮像した画像を使用して再度学習を行った。その際に教示作業はすべて筆者らで行うものとし、人の違いによる教示点の揺れが発生しないようにした。また、今回は事前検討では教示点が存在しなかった右枝の胸骨側も教示している。

学習に使用するデータセットとして事前検討と同等以上の画像枚数を用意して、表2に示すPC環境で学習および推論を実施した。今回は交差検証を行い、より正確な評価ができるようデータセットを分割して学習および推論を実施している。なお、深層学習ライブラリにはpytorch(Version 1.6.0)を使用した。結果を表3に示す。すべての教示点に対して精度が95%を超えており、非常に良好な結果となった。使用したデータセットの中には、画像処理のみで分割位置を検出した際に課題となっていた脂肪・肉片の付着した枝肉や、1本目の肋骨が肉に隠れて見えない枝肉の画像も含まれている。こういった条件下でも良好な検出精度を示していることから、開発目標であったロバストで精度の高い検出手法の確立を達成したといえる。

4. 結言

以上本報では、豚部分肉大分割装置の分割位置検出向けに導入したキーポイント検出の検証と精度向上に向けた取り組みについて述べた。事前検討では教示揺れなどの原因で精度が高くなかったものの、撮像系と教示点を最適化することで、すべての分割位置を95%以上という高い精度で検出できた。今後は製品への実装に向けて、キーポイント検出で分割位置の検出に失敗した際に、失敗を検知する方法について検討する。

参考文献

- [1] 山下智輝, 村並広章, 徳本 大, "食肉のマニピュレーションを支える認識技術", 日本ロボット学会誌, Vol.37, No.6(2019), pp.483-488.
- [2] 徳本 大, 村並広章, 服部一裕, "励起発光を用いた画像解析による豚枝肉の肋骨位置検出(枝肉大分割工程の自動化)", 農業食糧工学会第72年次大会, G-12, 2013.
- [3] 山下智輝, 村並広章, 徳本 大, 徳山孝太郎, 海野達哉, "食肉処理ロボットシステムにおける認識技術の開発(第1報:深層学習と3次元画像処理による豚もも肉骨露出部の検出)", ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2A2-L15, 2018.
- [4] Wang, J., Sun, K., Cheng, T., Cheng, T., Jiang, B., Deng, C., Zhao, Y., Liu, D., Mu, Y., Tan, M., Wang, X., Liu, W., Xiao, B., "Deep High-Resolution Representation Learning for Visual Recognition", <https://arxiv.org/abs/1908.07919v2>, 2020.