

《様式B》

研究テーマ 「フォグコンピューティングを活用した棚卸業務自動化の研究」

研究責任者 所属機関名 静岡理科大学

官職又は役職 教授

氏 名 工藤 司 メールアドレス kudo.tsukasa@sist.ac.jp

共同研究者 所属機関名

官職又は役職

氏 名

(平成 30 年度募集) 第 31 回 助成研究 完了報告書

1. 実施内容および成果ならびに今後予想される効果の概要

機械加工の工場では、多くの部品をバルク（バラ積み）コンテナ（以下、コンテナ）に保管している。しかし、バルクコンテナ内の在庫数量は外から数えられないため、棚卸では部品を取り出して数える必要があり、作業者の負荷になっていた。研究責任者は、先行研究で、外部から撮影した画像から、深層学習を活用して実用的な精度で在庫数量の推定が可能であることを示した。しかし、しばしば数千に及ぶコンテナを、1枚1枚撮影するのは現実的ではない。

そこで、本研究では動画を活用して棚卸業務を自動化するための、以下の方式を実装、評価した。第一は、フォグコンピューティングを活用した、動画からの対象の画像抽出方式であり、端末側に画像データベースを設置し一次処理を行うことにより、再提出や一次処理結果の訂正においても、データ管理の効率化が可能になることを示した。特に、深層学習では訓練データの収集に工数を要するが、本方式により大量の訓練データを半自動的に蓄積できることを示した。

第二は、動画から抽出した画像に対する、深層学習を応用した画像認識の有効性評価である。本研究では、在庫の変動は作業者の入庫・出庫作業によることに注目し、作業者がウェアラブルカメラ（以下、カメラ）を装着して、作業の際にコンテナを「見る」動作だけでコンテナの情報を収集する方式を着想した。このためには、コンテナを自動的に識別することが必要である。これに対し、深層学習を活用して、上記の画像から対象を識別することが可能であることを示した。

第三は、実際の工場では環境の変化、すなわち時間の推移（昼間と夜間）、天候などにより画像に差異が発生するという課題への対応である。本研究の中で、このような画像の差異は、深層学習を活用した推定で精度の劣化を招くことが分かった。研究責任者は、先行研究で、コンピュータグラフィックス（CG）を活用して深層学習の訓練データを自動生成する方式を提案した。そこで、環境の影響を受けない CG 画像を基準とし、深層学習の敵対的生成ネットワーク（GAN）の一種である Cycle-GAN を適用して実画像を変換する方式を着想、精度の改善が可能であることを示した。

本研究成果は、工場の様々な情報の自動収集を行うシステムへの応用が期待できると考える。工場内での在庫管理に関しては、RFID タグや QR コードなどが活用されている。一方で、コンテナに保管するような機械部品は形状や、直接加工工程で使用するため、タグの添付が難しい。これに対し、本研究ではフォグコンピューティングを活用し、カメラで連続撮影した動画から様々な情報が

自動識別可能であることを示した。すなわち、ウェアラブルカメラを使用することで、作業者に特別な負荷をかけることなく、「対象を見る」という動作だけで情報の収集が可能である。今後、このような画像からの情報収集が必要な分野における効果が期待されると考える。

2. 実施内容および成果の説明

第1節に示した三つの項目について、実施内容と成果を説明し、最後にまとめを述べる。

2.1 フォグコンピューティングを活用した動画からの対象画像抽出方式

Internet of Things (IoT) の進展に伴い、様々なセンサから入力されるデータがクラウドサーバ（以下、サーバ）に送られ、解析、共有されるようになっている。一方でこれは、例えば、膨大なカメラからの動画データを全てサーバに転送することになるため、ネットワーク帯域の制約という課題を引き起こし、センサ近くに設置されたフォグノードで一次処理を行い、サーバには一次処理結果のみを転送する、フォグコンピューティング

（あるいは、エッジコンピューティング）

が提案されている。一方でこの構成は、サーバ側の解析でオリジナルのセンサデータが必要になった場合に、データが欠損するという課題がある。この課題に対し、研究責任者は先行研究で、図1に示す3階層データモデルを提案した。これは、フォグノードに分散データベースを配置し、例えばカメラの動画のようなオリジナルのセンサデータを全て保存して、サーバから必要に応じて参照できるようにしたものである。

このモデルを、本研究テーマである動画から抽出した画像による棚卸の自動化に応用した場合、動画データは(A)センサDB（データベース）に保存され、コンテナと認識された画像、および在庫状況は(B)抽出DBに、工場全体の在庫管理の情報は(C)結果DBに保存される。ここで、棚卸において、図2に示すコンテナの画像から、第1節に示したように在庫数を深層学習で自動推定する場合には、推定誤差発生

の可能性あるが、生産管理システムにおける理論在庫（計画値）との差異によって検出できる。この場合にも、3階層データモデルを使用することで再計算が可能である。そこで、本研究では、3階層データIモデルを、コンテナの判別と在庫推定に適用する一連の運用を構想した[6]（番号は最後の「研究成果」に記載のもの、以下同様）。一方、この再処理に伴い、図1の(B)抽出DBの個々の在庫量と、(A)の工場全体のデータに差異が発生するため、再処理の都度、両者の整合を確保する必要があり、効率低下する。この課題に対しては、図3に示すように、データの観測時刻と、(B)抽出

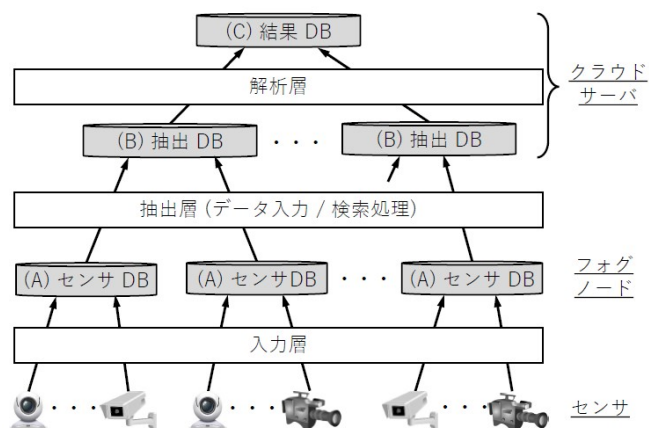


図1 フォグコンピューティングのための3階層データモデル [4]

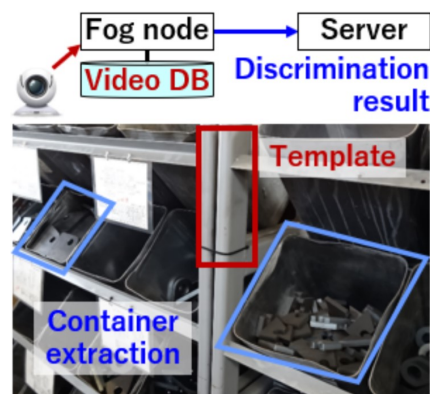


図2 コンテナ内在庫の認識 [6]

DB の更新時刻時間の両方を管理する、バイテンポラルデータベース（図では、Bitemporal table）を応用することで効率を維持できることを示した[5].

次に、動画から対象の画像を抽出する方式を評価した。本研究では、カメラとして図 3 に示すスマートグラスを前提とした。額付近のカメラで連続して動画が撮影され、グラスに画像が表示されるため、画像を確認しながら作業ができ、かつ両手を使用しないため工場の作業中でも使用可能である。作業者の動きを動画のフレーム間の差分の関数でトレースした場合、図 3

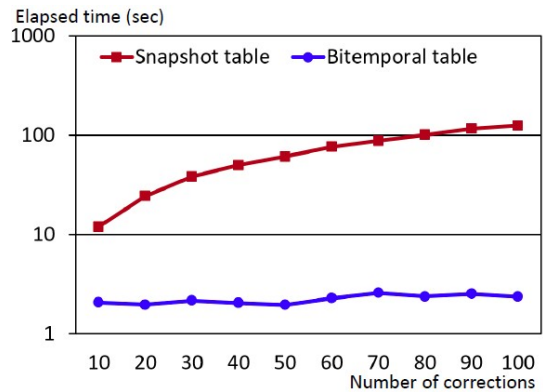


図 3 バイテンポラルデータベースによる改善 [5]

のグラフに示すように移動中や作業中は変動が大きく、対象を見ている時には変動が小さくなる。すなわち、C1 などのように、変動が閾値以下の区間の最小の部分が対象を

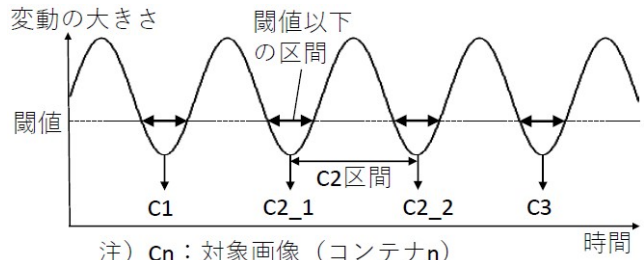


図 4 ウェアラブルカメラと、動画からの対象画像抽出 [4]

見ている所になる。この方式で QR コードを対象に評価し、識別できることと、変動の特徴を付帯情報として保存することで、長時間の動画から画像の再検索を効率的に行えることを示した[4].

2.2 ウェアラブルカメラの動画に対する対象識別方式

ウェアラブルカメラの動画から抽出した画像に対する、深層学習による画像認識の効果を、プロトタイプを構築して、研究室における実験で評価することを構想した[9]. まず、広い工場内で、画像のみからコンテナの識別を行う場合は、類似コンテナとの取り違いによる精度の劣化が予想される。

そこで、第一に GPS 併用による所在の絞り込みを構想し、屋内での GPS 精度を確認す

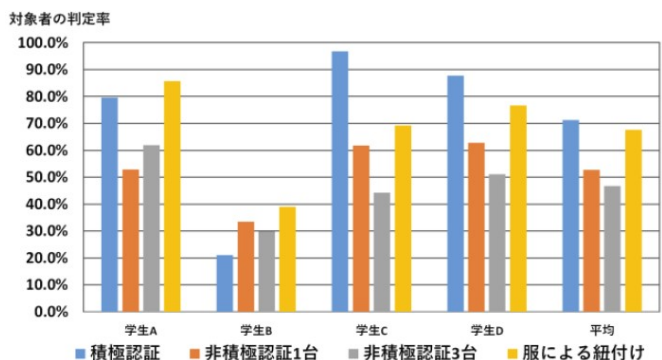


図 5 複数カメラと紐づけによる顔認証の評価 [2]

ると共に、一定時間計測することで精度を向上できることを確認した[1]. 第二に、作業者が作業エリアに入室することを、複数台のカメラを設置することで作業者が意識することなく認証する方式を着想、評価した。この結果、図 5 に示すように、各カメラの捉えた作業者の画像を、作業者の特徴により紐付けることで、積極認証（カメラの前に立つ一般的な認証）と概ね同程度の精度で識別できることを確認した[2]. さらに、図 2 に示すように、工場ではコンテナなどにラベルが掲示してあるが、識別には様々な図形や画像の中から文字情報を抽出する必要がある。このため、枠線を含む資料の中から文字を抽出、認識する方式を実装し、一定の精度で認識できることを示した[3].

以上の個別の評価結果に基づき、図 6 に示す棚卸業務自動化方式を実装、評価した。本方式は

2.1 項に示すようにカメラの動画から対象画像を抽出し(1), 工場内に複数ある在庫保管領域への入室を識別した後(2), 対象がコンテナか部品かを識別し(3), 最後に個々の部品を識別する(4). 識別には深層学習のモデルのうち, 対象がどのクラスのものであるかを判別する, 多クラス分類モデルを使用している. このモデルでは, 対象のクラスが増加すると相互の誤認識により精度が劣化する. そこで, 本方式では各処理段階ごとにモデルを入替える方法を実装した. これを評価した結果, 動画から連続して対象の画像を抽出・識別すること, さらにモデルの入替えることにより, 精度を向上できることが分かった. また, 深層学習の訓練データ画像の抽出, および識別効率の実験を行い, 画像の抽出は平均1秒ごと, 識別は同じく2秒ごとに実行できることを示した[11].

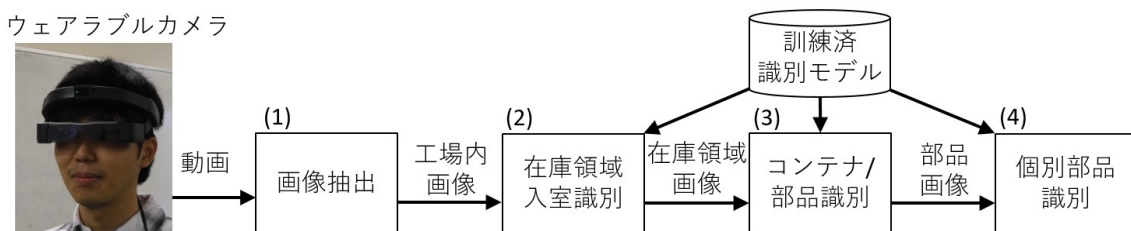


図6 棚卸業務自動化の処理の構成 ([11]に基づき作成)

2.3 Cycle-GAN を活用した画像変換方式

棚卸作業への応用のため, 図2に示すコンテナの画像からの在庫数量推定効率の改善を図った. 先行研究では2.2項に示した多クラス分類モデルで推定したが, 各在庫数量が1つのクラスとなるため, 在庫数量の範囲が広くなると訓練データの収集負荷が増える. そこで, 連続量を推定する回帰モデルを応用して精度を評価し, 図7に示すように概ね±5の範囲で推定が可能であることを示した[8]. 図7で横軸が推定誤差を示し「0」は正解である.

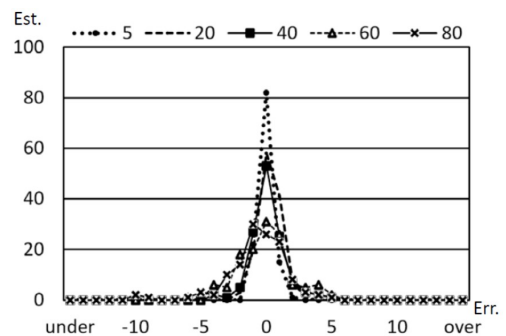


図7 画像による在庫推定精度 [8]

また, 折線グラフは, 凡例に示す在庫数ごとの, 各誤差の件数を示す.

しかし, この方法では, 訓練データをCG画像から自動生成して訓練したモデルで, 実際の画像を使用して推定したところ, 大幅な精度劣化が発生した. そこで, 画像をHSV(色相, 彩度, 明度)色空間で解析したところ, 彩度と明度の相違が推定精度に影響しており, これらの調整により推定精度の改善が可能であることが分かった[8]. これは, 実際の運用を想定した場合に, 二つの課題が発生することを示している. すなわち, 第一は, 実際の工場では時間の推移(昼間と夜間), 天候などの環境の変化により明度や彩度が変化するため, 環境の影響の抑止が必要であること. 第二は, 多数のコンテナに応用するためには調整を自動化する必要があることである.

第一の課題に対しては, 環境の影響のない, CG画像を基準とするべきであると考えた. 第二の課題に対してはCycle-GANの応用を着想した. Cycle-GANは2017年に発表された方式であり, 馬とシマウマ, あるいはリンゴとミカンの画像を相互に自動変換できることが示されているが, 画像認識の分野への応用事例はなかった. 本研究では図8に示すように, X(実画像)とY(CG画像)の多数の訓練画像を準備し, XからYに変換(図のG)し, さらにこれをYからXに変換(同F)した. そして, 判別者(同 D_Y , CcL)によって両者の誤差を判別し, 誤差が小さくなるように繰り返し訓練し

た。図 9 に、CG 画像，偽 CG 画像（図の Fake CG，実画像から変換したもの），実画像の各々の訓練データで訓練したモデルを使用し，CG 画像によって推定した精度を MSE（平均二乗誤差）で評価した結果を示す。Cycle-GAN で作成した偽 CG 画像を使用することで，実画像を使用する場合よりも精度が改善できることが分かった[7]。

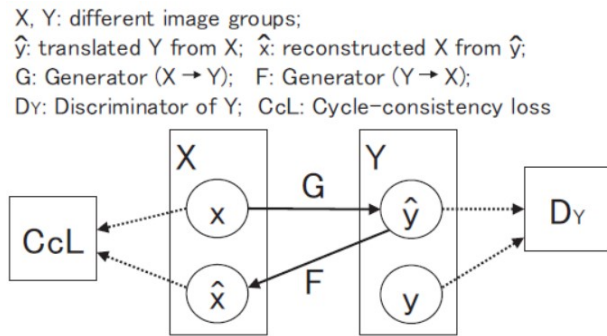


図 8 Cycle-GAN の構成 [7]

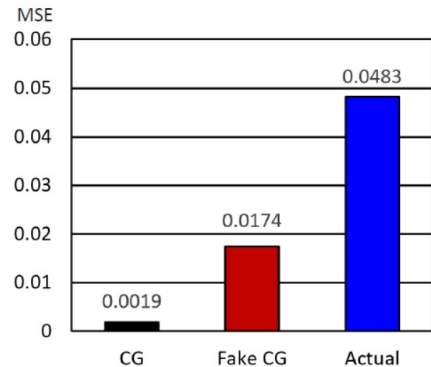


図 9 Cycle-GAN による精度の改善 [7]

さらに，本方式を実際の工場に適用するための運用方法を示すと共に，モデルの訓練における損失（誤差）の推移を分析した。これは，深層学習では訓練当初は精度が改善するが，訓練を継続するうちに訓練データのみには適合したモデルになる過学習が発生するため，最適な訓練停止点を決定するためである。図 10 に Cycle-GAN の訓練における損失の推移（G_loss, D_loss）と，変換された画像で推定した場合の図 9 に示す MSE を示す。この結果，両者には明確な相関がみられないという課題があることが分かった[10]。この解決は，今後の課題である。

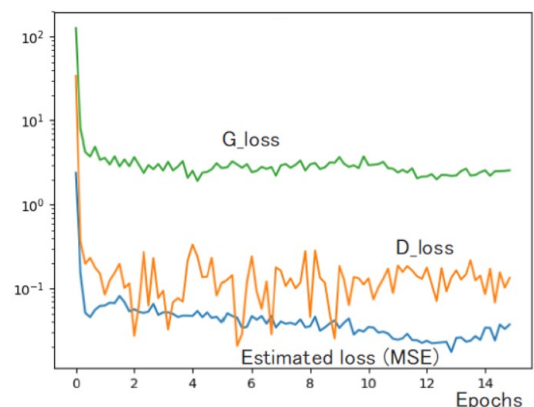


図 10 訓練における損失の推移 [10]

2.4 まとめ

本研究では，「ウェアラブルカメラで在庫棚を連続的に動画撮影し，動画から在庫棚画像を自動抽出する」という着想に基づき研究を実施し，以下の成果を挙げた。第一に，3 階層データモデルを備えたフォグコンピューティングを活用することで，動画からの画像抽出において，再抽出や再処理を効率化できることを示した。第二に，抽出した画像から，深層学習を活用した画像認識により，複数のエリアを持つ工場でのエリアへの入室や，対象の識別が可能であることを示した。第三に，環境条件の画像認識への影響を削減するため，CG 画像を基準とし，Cycle-GAN を活用することで在庫推定精度を向上できることを示した。これら成果は，「研究成果」に示すように，学会発表を行っており，謝辞で「東海産業技術振興財団の助成を受けた」ものあることを明記した。

さらに，上記の第三の成果に関しては国際会議で Best Paper Award[14]を受賞することができた。また，静岡理工科大学で実施された海外の大学とのシンポジウム，および企業を主体とする研究会で，背景や先行研究を含めて技術講演を行うと共に[12, 13]，研究室のホームページで講演資料を公開している。これらの資料にも，謝辞で研究助成を受けたものであること明記した。

研究成果

学会発表

1. 山下大悟, 工藤司 : 位置情報を用いた入退室管理システム, 情報処理学会第 82 回全国大会, pp. 4-597 - 4-598 (Mar. 2020) .
2. 秋山裕太, 工藤司 : 顔認証を用いた自然な動作の入退室管理, 情報処理学会第 82 回全国大会, pp. 4-599 - 4-600 (Mar. 2020) .
3. 東屋那音, 工藤司 : 変動のある様式を対象とした文字情報抽出方式, 情報処理学会第 82 回全国大会, pp. 4-601 - 4-602 (Mar. 2020) .
4. 工藤司 : フォグコンピューティングにおけるセンサデータ管理方式の提案, 電子情報通信学会信学技報, Vol. 119, No. 419, SWIM2019-31, pp. 39-45 (Feb. 2020).
5. Kudo, T. : Data Correction Management Method Using Temporal Data in Fog Computing, Proceedings of 12th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU), IEEE, pp. 1-4 (Nov. 2019).
6. Kudo, T. : A proposal of fog computing infrastructure for inventory management with images, Proceedings of Symposium on Advanced Information Systems (SAIS2019), No. 8 (Sep. 2019).
7. Kudo, T. : Training Data Generation Method for Deep Learning Using Cycle-GAN, Proceedings of International Workshop on Informatics (IWIN2019), pp. 149-154 (Sep. 2019).
8. Kudo, T. and Takimoto, R. : CG Utilization for Creation of Regression Model Training Data in Deep Learning, Procedia Computer Science, Vol. 159, 2019, pp. 832-841, 23th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems (Sep. 2019).
9. 工藤司 : 画像認識を活用したラボラトリオートメーション, 高度情報シンポジウム 2019, No. 3 (Aug. 2019) , https://www.sist.ac.jp/~kudo/research/INFSOC_Sympo_2019_No3_kudo.pdf.
10. Kudo, T. : CG Training Model Application Method Using Cycle-consistent Adversarial Network, International Journal of Informatics Society, Vol. 12 (印刷中).
11. Kudo, T. : A Proposal for Article Management Method Using Wearable Camera, Procedia Computer Science, 24th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems (投稿中).

技術講演

12. Kudo, T. : Inventory Estimation Method for Bulk Container Using Deep Learning, Academic Work Shop among Shizuoka Institute of Science and Technology, Jiangsu University and Nantong University (Dec. 2019), https://www.sist.ac.jp/~kudo/research/SIST_Kudo_20191207.pdf.
13. 工藤司 : AI 技術を活用した在庫推定の研究, 金型技術研究会・先端精密技術研究会 技術講演

(Sep. 2019) , https://www.sist.ac.jp/~kudo/research/SIST_Kudo_20190926.pdf.

受賞

14. International Workshop on Informatics (IWIN 2019) Best Paper Award (Sep. 2019).