

# ぬいぐるみ型コントローラにおける AI 学習の効率化手法の提案とそれに伴う利便性の向上

布施優人<sup>†1</sup> 吹野碧<sup>†2</sup> 池岡宏<sup>†1</sup>

**概要:** これまでに、高齢者や幼児、身体障害者といったユーザのゲーム操作におけるアクセシビリティ向上を目指し、ぬいぐるみ型コントローラを開発してきた。しかし、コントローラの中核を担う骨格推定 AI の学習工数の多さが問題となっていたが、本研究では AI の学習用データを半自動的に生成するシステムを提案することで、この問題の解決を図った。具体的には、Python の OpenCV と ArUco を利用した自動ラベリング、Stable Diffusion によるマーカー自動消去、さらにファインチューニングの活用により、学習用データ生成の大幅な効率化を実現した。また、本システムにより複数のぬいぐるみの同時利用を想定した学習データを作成し、YOLOv8 を用いた物体識別および骨格推定の精度を評価する実験を行った。その結果、提案システムの利用により高い精度で骨格推定が可能となり、高い汎用性を獲得できた。これにより、本コントローラは多様な用途やユーザ層への対応が可能になった。本稿では提案システムの設計、実験結果、ならびに今後の課題について詳述する。

## 1. はじめに

近年、ゲームは単なる娯楽の枠を超え、認知機能の向上といったリハビリテーション、教育の場面等で幅広く活用されるようになってきている。例えば、高齢者においてはゲームの活用が脳の活性化に効果的であることが示されており、認知能力の維持はもちろん社会的孤立の軽減に寄与する可能性が報告されている[1]。一方で、幼児向けの教育分野でも、ゲーム技術を用いたインタラクショナルデザインが注目されており、例えば、ぬいぐるみ型デバイスを活用した学習ツールが子どもの発達支援に有用であることが示唆されている[2][3]。

しかしながら、従来のゲームコントローラや操作デバイスは、高速で複雑な指の操作を求められることが多く、特に高齢者や幼児、あるいは身体障害を持つユーザにとって大きな障壁となっている[4][5]。これにより、これらのユーザ層がゲームを活用したアクティビティから疎外される問題が生じている。こうした課題に対処するため、柔らかい素材や直感的な操作性を活かしたインタラクショナルデザインが近年注目を集めている[3][6]。

例えば、ぬいぐるみ型デバイスは、親しみやすさと操作の簡便性を兼ね備えており、障害を持つ子どもや高齢者向けに有効なツールとなりうる。過去の研究では、ぬいぐるみに内蔵されたセンサやモジュールを活用し、動きを感知するシステムが提案されている[3][5][6]。また、機械学習を用いた画像認識や動作推定といった技術の活用により、従来のデバイスにはなかった柔軟性や適応性を実現する試みも報告されている[6][7]。

筆者らも先行研究にて、AI 認識を活用してぬいぐるみの動きをゲーム操作に反映するぬいぐるみ型コントローラを提案してきた[8]。このシステムは、高齢者や幼児を含む幅

広いユーザ層に対して、ゲームアクセシビリティを向上させることを目的としており、従来のコントローラでは操作が難しかったユーザにもゲームを楽しむ機会を提供できる可能性が示された。しかし、本提案を実現するにあたり、ぬいぐるみを追加登録する AI 学習の際に多くの学習用画像データに対してラベリングが必要となるという、導入工数の多さが課題となっていた。

本研究ではこの課題を解決するため、新たな AI 学習システムを開発し、ラベリング作業の簡略化および半自動化を実現した。これにより短時間で効率的に多様なぬいぐるみを登録する AI 学習が可能になり、ぬいぐるみコントローラ導入時の負担が軽減され、より多くのユーザが直感的に操作可能なゲーム環境の提供が容易になった。本稿では、提案システムの概要とその評価実験の内容を示し、ゲームアクセシビリティ向上を図ったので報告する。

## 2. 関連研究

高齢者や幼児、身体障害者を含む幅広いユーザ層のゲームアクセシビリティ向上を目的として、フィギュアやぬいぐるみを利用することで、直感的な操作を可能にするゲームコントローラに関する提案はいくつかなされている。

例えば、「アクションフィギュアによる 3D ゲームコントローラ」では、フィギュアに内蔵されたセンサを介して、ユーザがフィギュアを動かすことでゲーム内キャラクターの動作を制御するシステムが提案されている[9]。この研究では、従来のコントローラが持つ自由度の制約に着目し、フィギュアを動かすという直感的な操作で高い自由度を実現している。しかし、専用の硬質なフィギュアの利用を前提とするため、ぬいぐるみのようなぬくもりは無く、ユーザが愛着や共感性が生じにくいという問題がある。

一方、柔らかい素材を用いたインタラクショナルデザイン

<sup>†1</sup> 福山大学

<sup>†2</sup> 福山大学大学院 工学研究科

として、ぬいぐるみ型デバイスが注目されている。例えば、Kiaghadi らの「FabToys」では、圧力センサをぬいぐるみに組み込み、触覚的なインタラクションを検知するシステムが提案されている。この研究は、幼児向けの教育的ツールとして設計されており、ユーザがぬいぐるみに触れることで学習や遊びが促進されることを目指している[3]。しかし、圧力情報からぬいぐるみの動きを推定し、それをリアルタイムに反映させるような高度なインタラクションは考慮されていない。

また、Fukuoka らの提案する「Prototype to Control a Mid-air CG Character Using Motion Capture Data of a Plush Toy」では、ぬいぐるみを動かすことで CG キャラクターを操作するシステムが提案されている。この研究では、ぬいぐるみの動きをモーションキャプチャで捉え、ゲーム内のキャラクター動作に反映させる仕組みを実現している。しかしぬいぐるみの多数同時利用については対応していない[4]。

これらの研究に共通する課題として、多様な形状のデバイス（ぬいぐるみ、フィギュアなど）に柔軟に対応可能な仕組みの導入や、デバイス追加登録時の AI 学習の効率化が挙げられる。本研究では、ゲームアクセシビリティ向上のための我々のぬいぐるみ型コントローラにおいて、中核となる AI 認識のための学習を半自動化することで、ぬいぐるみ追加登録時の作業負担を大幅に効率化することに成功した。これにより、多様な形状のぬいぐるみへの対応や多数のぬいぐるみの同時利用を可能になり、既存研究の課題を克服している。

### 3. 提案システムの概要

#### 3.1 ぬいぐるみコントローラ

本提案システムでは、図 1 のように、ぬいぐるみを抱えるゲーム操作者の正面に配したカメラからの画像を入力とし、その後の処理は PC に導入したソフトウェア YOLO と Unreal Engine を使って実現した。なお、YOLO とは、高速で正確な物体認識を可能にする AI モデルとして知られており、特に本研究ではリアルタイムの物体認識のみならず骨格推定も可能になった YOLOv8 を採用している[10]。骨格推定により、ぬいぐるみの首、右手、左手の 3 点の座標をリアルタイムに数値化し、Unreal Engine 内に送信することで、ゲーム内キャラクターの移動、ジャンプなどのアクションとして反映させる。例えば、ゲーム内キャラクターの横移動は、ぬいぐるみの首の x 座標を常に参照することで実現し、ゲーム内キャラクターのジャンプ動作は、同様に首の y 座標を参照し、数フレーム前の y 座標と現在の y 座標位置を参照しジャンプの処理を実現する。さらに、攻撃技を繰り出す等の操作には、ぬいぐるみの手を上げる動作を対応させたが、各手と首の y 座標をそれぞれ参照し、手の座標が一定以上首より高ければ攻撃技を繰り出すといった判定を行っている。

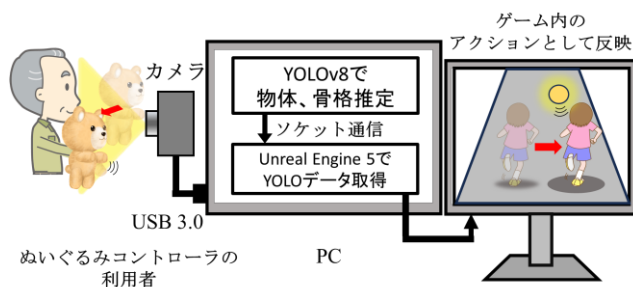


図 1 システム概要図

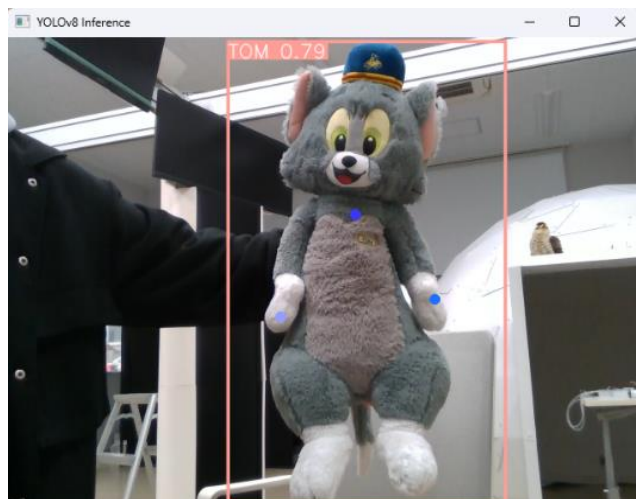


図 2 ぬいぐるみの骨格ポイント座標（首と両手の青点）

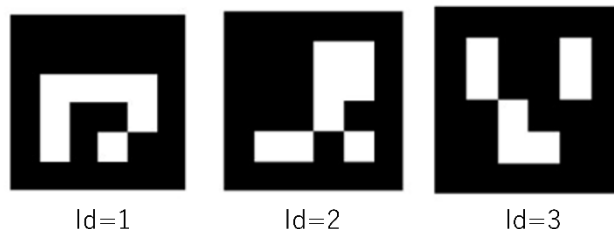


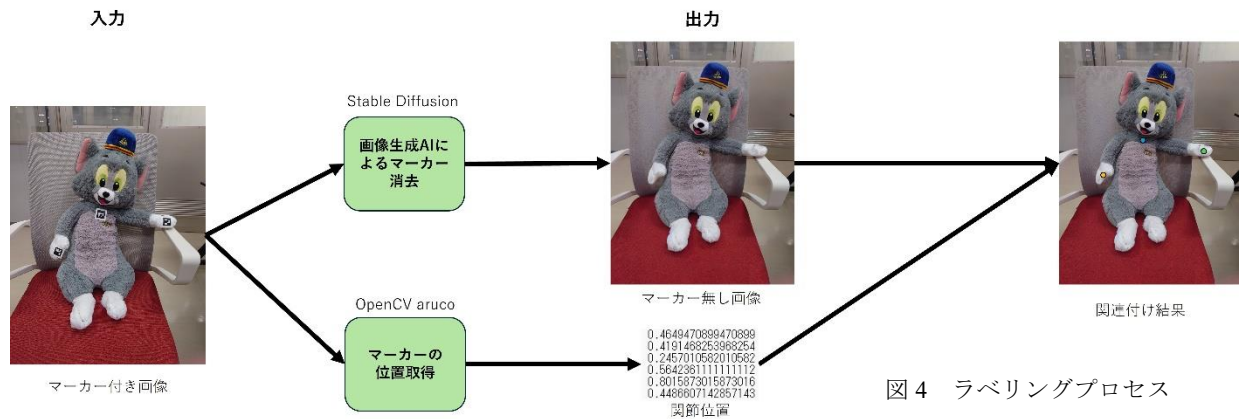
図 3 ArUco マーカー

なお、骨格ポイントの検出対象は、図 2 の通り 3 点の座標が首、右手、左手の位置とした。また、ぬいぐるみ全体を囲むように、例えば「TOM」というぬいぐるみの名前のバウンディングボックス単位で検出している。

#### 3.2 学習元データの自動生成

これまで、ぬいぐるみの学習データ収集には CVAT を使用し、手動でラベリングを行っていた。しかし、推定 50 枚のぬいぐるみ画像に対して骨格位置を手動でアノテーションする作業には非常に長い時間を要し、効率性に課題があった。

本研究では、この課題を解決するため、YOLOv8 の骨格推定モデルが必要とするデータが、クラス ID、バウンディ



ングボックスの width, height, 中央座標の x, y および各座標点の x, y 座標のみであることに着目し、ラベリングプロセスを自動化するシステムを開発した(図4). 具体的には、Python の OpenCV と ArUco モジュールを使用し、図3に示すマーカーをぬいぐるみの骨格位置(例えば、首、右手、左手)に貼り付け、その位置を検出して x, y 座標に変換し、ラベルデータを生成するプロセスを用意した。

加えて、マーカー無しぬいぐるみ画像の生成も学習時には必要になる。しかし、マーカー有り無しの両画像を撮影するのは非常に困難で、コストもかかる。そこで、本システムでは、画像生成 AI の活用を図った。具体的には、Stable Diffusion を活用し、取得した骨格位置に基づいてマーカーエリアを削除。その箇所を RGB 値[0,0,0]に置き換えた後、削除部分を生成 AI で補完することで、違和感のない画像を生成するようにした。この提案により、マーカーを貼り付けて撮影するだけという、学習用データの半自動化に成功し、従来の手動ラベリングに比べて学習用データの作成時間を大幅に短縮できた。

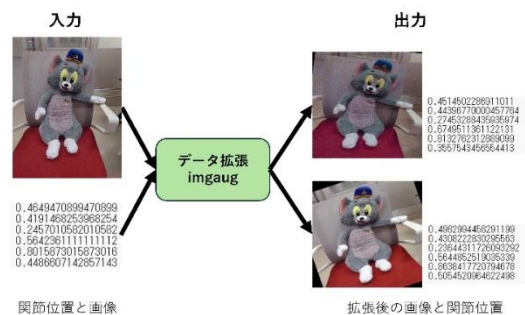
なお、生成された画像データおよびラベルデータは、実行時にコマンドライン引数として指定したぬいぐるみ名に基づき、自動的にデータ拡張用のサブディレクトリが作成され、その中に適切に保管される仕組みとした。

### 3.3 データ拡張

自動生成されたマーカー無し画像データおよび骨格位置座標データを基に、モデル精度を向上させるためのデータ拡張を行った。複数のサブディレクトリ(ぬいぐるみの名前)から画像データとラベルデータを抽出し、それらを学習用と検証用に分割。各サブディレクトリ名をそのままクラス名として使用し、クラス分類の一貫性を確保した。

拡張手法として、図5のように、明度の変更、回転、ノイズの付加などのランダムな処理を施した。それぞれの拡張はランダムに行う。

さらに、Python を用いたファイル操作を活用し、データ拡張後の画像およびラベルデータを自動的に学習用ディレクトリと検証用ディレクトリに移動させる仕組みを構築した。これにより、データの整理および効率的な学習環境が実現された。



### 3.4 ファインチューニング

前述の手法(3.2 および 3.3)で生成された学習データを用いて、AI の学習を行った。ファインチューニングは、既存の学習済みパラメータを新しいタスクの初期値として利用することで、少ないデータ量でも効率的な学習を可能にする手法である[11]。本研究では、前回の研究で得られた既存の AI モデルを活用することで、ファインチューニングを実施した。この方法により、前回の学習で得られた知識を再利用し、学習効率を向上させた。

### 3.5 実験

本研究では、2種類のぬいぐるみ(TOM と POOH)を対象に、また骨格位置を首、右手、左手の3点に限定したうえ、YOLOv8 モデルを用いて物体検出の学習を行った。学習用データとして825枚(TOM)と375枚(POOH)、検証用データとして275枚(TOM)と125枚(POOH)を生成した。モデルの初期重みとして前回の学習結果[8]を利用し、200 エポックにわたるファインチューニングを実施した。学習では、バッチサイズを32、初期学習率を0.0001に設定し、最終学習率を0.0001まで減少させるスケジュールを採用した。また、過学習を防ぐためにドロップアウト率を0.3に設定し、重み減衰(0.0005)を導入した。また、学習の中断条件として Early Stopping を無効(patience=0)に設定した。

学習の結果、図6のような学習曲線を得ることができた。学習曲線の損失値は初期段階で急激に減少し、その後収束している。精度指標 mAP50-95 は0.9以上で安定し、高い

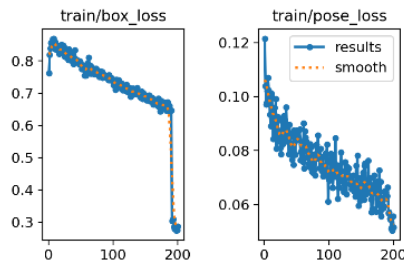


図6 YOLOv8による学習時の学習曲線

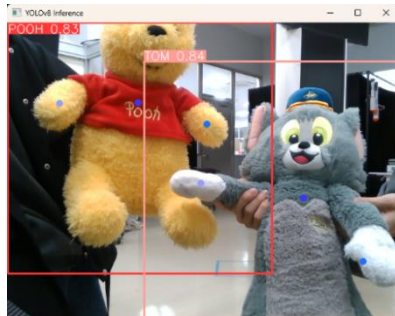


図7 二体のぬいぐるみの同時推定

識別能力が確認された。最終段階の急激な損失低下は学習率スケジューリングによるもので、性能向上に寄与している。従来は約12時間を要していた学習プロセスが、提案システムにより約1時間まで短縮され、大幅な効率化を実現した。

ぬいぐるみ二体を新規登録したAIを用いてYOLOv8による推定を行った。その結果、図7のように、二つのぬいぐるみを同時に、かつ高精度で物体識別および骨格推定を行うことが可能であることが確認できた。この結果から、本研究で提案した学習システムを用いることで、複数のぬいぐるみの追加登録も容易化することに成功したと言える。

#### 4. おわりに

本研究では、高齢者や幼児、身体障害を持つユーザを含む幅広い層に対応したゲーム操作環境を提供するために、ぬいぐるみ型コントローラを提供しているが、その核となるAIの効率的な学習を実現するための自動ラベリングプロセスやデータ拡張手法、ファインチューニングを組み合わせたシステムを開発することで、従来の手法と比較して高い効率で学習用データを用意することができるようになった。また、複数のぬいぐるみに対応できる仕組みも容易に提供可能になった。これにより、アクセシビリティが向上し、直感的な操作性が可能なぬいぐるみコントローラの導入が益々容易になった。よって本研究は、ゲームアクセシビリティ向上を目指したインタラクションデザインに新たな可能性を示したといえる。今後は、より多様な形状やサイズのぬいぐるみへの適応性の確認、さらなる学習効率の改善、ならびにGUIの開発による利便性の向上を進めていく予定である。

#### 参考文献

- [1] 野内類, 川島隆太. 脳トレゲームは認知機能を向上させることができるのか?. 高次脳機能研究 (旧 失語症研究), 2014, vol. 34, no. 3, p. 335-341.
- [2] AL-KHALIFA, Hend S. et al.. Basma: An interactive IoT-based plush toy for Arabic-speaking children. Journal of Computer Science, 2018, vol. 14, no. 11, p. 1440-1453.
- [3] KIAGHADI, Ali, et al.. FabToys: plush toys with large arrays of fabric-based pressure sensors to enable fine-grained interaction detection. In: Proceedings of the 20th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications and Services. 2022, p. 1-13.
- [4] FUKUOKA, Miyu; ANDO, Shohei; KOIZUMI, Naoya. Prototype to Control a Mid-air CG Character Using Motion Capture Data of a Plush Toy. In: ICAT-EGVE (Posters and Demos). 2022, p. 33-34.
- [5] KATO, Kaho; IENAGA, Naoto; SUGIURA, Yuta. Motion estimation of plush toys through detachable acceleration sensor module and machine learning. In: HCI International 2019-Posters: 21st International Conference, HCII 2019, Orlando, FL, USA, July 26–31, 2019, Proceedings, Part II. Springer International Publishing, 2019, p. 279-286.
- [6] KARA, Nuri; CAGILTAY, Kursat. Smart toys for preschool children: A design and development research. Electronic Commerce Research and Applications, 2020, vol. 39, 100909.
- [7] KOMIS, Vassilis, et al.. Smart toys in early childhood and primary education: A systematic review of technological and educational affordances. Applied Sciences, 2021, vol. 11, no. 18, 8653.
- [8] 布施優人, 吹野碧, 池岡宏. ゲームアクセシビリティの向上を目的とした直感的な操作を可能にするぬいぐるみ型コントローラの提案. 情報処理学会インタラクシオン, 2024, vol. 3A-04, p. 1080-1083.
- [9] 伊東達也, et al.. アクションフィギュアによる3Dゲームコントローラ. 研究報告グラフィクスとCAD(CG), 2012, 2012.12, p. 1-7.
- [10] JOCHER, Glenn, et al.. Ultralytics YOLOv8: A state-of-the-art model for object detection and image segmentation. In: Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2023.
- [11] PAN, Sinno Jialin; YANG, Qiang. A survey on transfer learning. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2009, vol. 22, no. 10, p. 1345-1359.