

氏名	ISLAM MD MATIQUUL
博士の専攻分野の名称	博士（学術）
学位記号番号	博理工甲第 1177 号
学位授与年月日	令和 2 年 9 月 23 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	An Intelligent Person Following Shopping Support Robot for the Elderly (高齢者のための知的追従する買い物支援ロボット)
論文審査委員	委員長 教授 小林 貴訓 委員 教授 島村 徹也 委員 教授 小室 孝 委員 准教授 大久保 潤 委員 名誉教授 久野 義徳

論文の内容の要旨

The lack of caregivers in an aging society is a major social problem. Without assistance, many of the elderly and disabled are unable to perform daily tasks. One important daily activity is shopping in supermarkets. Carrying heavy weighted goods or pushing a shopping cart and moving it from shelf to shelf is tiring and laborious, especially for customers with certain disabilities or the elderly.

Many researchers develop person following robot for supporting elderly in shopping mall but just following may not sufficient or good enough for supporting elderly. Considering the body orientation of the customer it is better to find the appropriate positional relation between the customer and the robot. In addition to the robust person-following, the robot can more support the user if it can act in advance to meet the user's next move. For example, when the user picks up a product from a shelf, it is convenient if the robot automatically comes to the user's right hand side (if the user is right-handed) so that he or she can put it easily in the basket. To realize such functions, the robot needs to recognize the user's behavior.

The first part of the work is on developing body orientation based shopping support robot. To do that, we address the problem of real-time human pose-based robust person tracking system. We achieve this by cropping the target person's body from the image and then apply a color histogram matching algorithm for tracking a unique person. After tracking the person, we used an omnidirectional camera and LiDAR sensor to find the target person's location and distance from the robot. When the target person stop in front of shopping shelves our robot finds the target person's body movement orientation using our proposed methodology. According to the body orientation our robot assumes a suitable position so that the target person can easily put his shopping product in the basket. Our proposed system was verified in real time environments and it shows that our robot system is highly effective at following a given target person and provides proper support while shopping the target person.

The next step was to develop an intelligent shopping support robot that can carry a shopping cart while following its owners and provide the shopping support by observing the customer's DNN-based human pose estimator called OpenPose is used to extract the skeleton of 18 joints for each detected body. Using this extracted body joints information, we built a dataset and developed a novel Gated Recurrent Neural Network (GRU) topology to classify different actions that are typically performed in front of shelves: reach to shelf, retract from shelf, hand in shelf, inspect product, inspect shelf. Our GRU network model takes series of 32 frames skeleton data then gives the prediction. Using cross-validation tests, our model achieves an overall accuracy of 82%, which is a significant result. Finally, from the customer's head orientation, body orientation and shopping behavior recognition we develop a complete system for our shopping support robot.

To operate our robot in a practical environment we must ensure three requirements such as speed, accuracy and cost. OpenPose based model does not fulfill these requirements. For this reason, we replace OpenPose model with Kinect V2 depth camera. Kinect camera can detect 3D skeleton with approximately 30 frames/sec whereas OpenPose model detect skeleton approximately 5 frames/sec. The accuracy of 3D skeleton based shopping action recognition is high and it is 95% using our GRU network. Using Kinect camera we can measure the distance from robot to tracked person so extra LiDAR sensor does not need. So, Kinect based model is cost effective and does not need extra processing.

Finally, we develop a person following shopping support robot using a Kinect camera that can recognize customer shopping actions or activities. Our robot can follow within a certain distance behind the customer. Whenever our robot detects the customer performing a "hand in shelf" action in front of a shelf it positions itself beside the customer with a shopping basket so that the customer can easily put his or her product in the basket. Afterwards, the robot again follows the customer from shelf to shelf until he or she is done with shopping. We conduct our experiments in a real supermarket to evaluate its effectiveness.

論文の審査結果の要旨

当論文審査委員会は、当該論文の発表会を令和2年8月3日に公開で開催し、詳細な論文内容の審査、並びに質疑を行った。その論文発表を含む学位論文の審査の結果、本提出論文を博士（学術）の学位論文として合格と判定した。以下に審査結果の要約を示す。

本提出論文は高齢者を支援するロボット買い物カートについて検討したものである。

高齢化社会の進行に伴い、高齢者の健康寿命の延伸が社会的な課題となっている。外へ出かけることは、心身の健康維持に重要である。特に買い物は、高齢者にとって日常的な社会参加の機会として貴重であると共に、経済活動を伴うことから地域社会の活性化の側面からも期待されている。しかし、スーパーマーケットなどでの買い物において、重い物を運ぶ、またはショッピングカートを押して棚から棚に移動することは、高齢者や障害のある方にとって、大きな障害となっている。このような背景の下、多くのショッピングモールでユーザに追従し、荷物の運搬を支援する買い物支援ロボットが提案されている。しかし、これまでに提案されている多くの追従型買い物支援ロボットは、計測したユーザの位置情報に基づいて追従を行うだけに留まっており、ユーザの振る舞いからその行動を支援するには至っていない。これに対して、例えば、右利きのユーザが棚から商品を手にとって買い物かごに入れる際には、ロボットが自動的にユーザの右側に来てくれると便利である。このような背景の下、本論文では、高齢者の買い物に注目し、ユーザの位置と振る舞いを認識し、ユーザの行動に対して適切な支援を行う買い物支援ロボットに関して検討を行っている。

本論文は6章からなる。まず、第1章では、本研究の背景や目的、課題について述べており、第2章では、主に関連研究に関する調査を行っている。

第3章では、ユーザの身体の向きに基づく買い物支援ロボットについて検討を行っている。ユーザが棚から商品を手にとって買い物かごに入れる際、買い物かごがユーザの横にあると、商品を入れやすく、高齢者などのユーザの場合でも上体をひねるなどの身体的な負担が少ない。そのため、本章では、まず、ロボットに取り付けた全方位カメラの画像から人物を検出し、ユーザの特定を行っている。人物の検出には、OpenPoseと呼ばれる深層学習に基づく骨格検出器を使用し、画像中の人物位置の検出と同時に、18関節の骨格情報を抽出している。骨格検出器から得られる骨格情報から、胴体部分の画像領域を抽出し、事前に登録したユーザの同画像領域とカラーヒストグラムマッチングにより照合することでユーザの特定を行う。また、本手法では、得られたユーザの骨格情報を用いて、ロボットに対するユーザの身体の向きを8方向で推定している。次に、全方位カメラ画像で特定されたユーザの位置に基づいて、2次元LiDARの観測におけるユーザ位置を対応付け、ロボットからユーザまでの距離を計測する。これらの手法により、ロボットに対するユーザの身体の向きとロボットからの相対的な位置を取得する。これらの情報に基づいて、ユーザが棚の前で静止すると、その身体の向きと位置の情報に基づいて、買い物支援ロボットはユーザの横位置に自動的に移動することができる。実験では、実際に、買い物支援ロボットをi-CardMiniと呼ばれるロボットプラットフォームを用いて構築し、本システムが買い物行動を効果的に支援することを示している。

第4章では、ユーザの身体の向きだけでなく、様々な買い物行動を認識することで、ユーザの支援を行う手法について検討している。具体的には、第3章の手法に基づいて、ユーザの骨格情報を抽出し、深層学習により、ユーザの状態を6種類の買い物行動（商品棚に関心がない、商品棚の前に到着した、商品棚を観察している、商品棚に手を伸ばしている、商品棚から商品を手にとっている、商品を観察している）として認識している。第3章の手法と同様に抽出した18関節の骨格情報から、ユーザの頭部と身体の向きを8方向で分類し、ユーザが商品棚を見ているか、商品棚の方を向いているかを推定する。さらに、この骨格情報

を 32 フレーム分使用して、各買い物行動のデータセットを構築し、ゲート付きリカレントニューラルネットワーク (GRU) を用いて、棚の前での行動を学習・認識している。実験では、交差検定により、提案手法が 82% の精度でユーザの振る舞いを認識できることを示している。さらに、これらの振る舞いの認識結果を利用して、買い物支援ロボットの適切な支援行動について提案・検討をしている。

第 5 章では、ロボットをスーパーマーケットなどの実際の環境で利用するために、リアルタイムでの買い物行動認識について取り組んでいる。第 4 章で用いた全方位カメラ画像を用いた OpenPose による骨格検出は、現時点では、計算コストに配慮した最新の深層学習モデルを採用しているものの、GPU の利用など、買い物支援ロボットに搭載可能な処理装置での高速処理は困難である。そのため、本章では、全方位カメラではなく、RGB-D カメラ (Kinect V2) を用いて買い物行動の認識を行っている。また、Kinect は骨格情報を 3 次元で検出できるため、本章では、第 4 章での 2 次元骨格情報による買い物行動認識手法を 3 次元骨格情報に基づく手法へと拡張している。その結果、買い物行動の認識精度は 95% に向上し、リアルタイムでの認識も可能となっている。最終的には、集大成となるシステムを用いて、実際のスーパーマーケットで実験を行い、その有効性を評価している。

最後に第 6 章で、全体を総括し、今後に残された課題について議論している。

本論文の主な内容は、査読付き学術雑誌論文 3 編 (数理電子情報コースにおいて学術雑誌論文相当と見なす査読付き国際会議論文を含む) で公表ないしは受理されている。

以上のように、本論文の内容は、最終的に想定される実環境での実験に至っていることなどから、学術的に意義のある研究であると評価できる。よって、当学位論文審査委員会は、本論文を博士 (学術) の学位論文として合格と判定した。