

在宅認知症者を支援する「拡張認知機能」の提案 ～スマートエアリアルハンド：Sahasra の構想～

中山 功一¹ 大島 千佳¹ 林 喜章¹ 福田 修¹

概要：高齢者の衰えた認知機能を人工知能により補えるようになりつつあるが、認知症になっても自尊心が保たれる生活を送るには、人の手を借りずに障害を通常の人間の能力よりもさらに拡張された認知機能による支援が必要と考える。本稿では、拡張した認知能力を提供する手法についての構想を述べるとともに、認知症者と健常者の分け隔てない支援によって認知症の悪化を防ぐ可能性についても言及する。

キーワード：介護支援，拡張認知，インタフェース，スマートエアリアルハンド

“Extended Cognitive Function” to Support Home Care People with Dementia ～Concept of Smart Aerial Hand: Sahasra～

KOICHI NAKAYAMA^{†1} CHIKA OSHIMA^{†1}
YOSHIAKI HAYASHI^{†1} OSAMU FUKUDA^{†1}

1. はじめに

認知症の行動・心理症状（以下“BPSD”）は、「拒絶」「徘徊」「暴力や暴言」などの行動や、「妄想」「幻覚」などの心理障害が症状として発現したものである。BPSDは、認知症患者（以下「患者」）と家族（以下「介護者」）の関係を悪化させる要因になりやすく、介護者を疲弊させる根源でもある[1]。患者は、認知症の中核症状である記憶障害により「物をなくしやすい」「何度も同じことを訊く」といった言動を起こす。患者は記憶が定かではなくなることに不安感が増大し、介護者はイライラして患者を叱責してしまうことがある。すると患者と介護者の関係に問題が生じて、患者の安心感を低下させるばかりでなく、自己効力感や自己肯定感などの「自尊心」の低下にもつながる[2]。自尊心の低下が、BPSDを発症させやすくすると言われる。よって、患者の自尊心を確保できれば、BPSDは低減できると期待される。

患者の自尊心を確保するためには、たとえば紛失した物体を介護者が探すのではなく、誰の手も借りずに自ら取り戻すことが望ましい。「身体拡張[3]」のように自分の手が拡張しているように感じさせる方法ではなくても、自分の分身のような存在が紛失物を探して自分のもどきに返してくれるならば、認知機能を拡張している（以下、「拡張認知機能」と呼ぶ）といえるであろう。

本稿では記憶障害を支援するための拡張認知機能の実装を行う。従来の記憶障害の支援システムには2つの課題

があった。1つ目の課題は、事前登録・学習が必要であることである。物体探索にRFIDタグ（例えば[4]）を使う場合には、対象とする物体（なくしたくない物体）に、事前にタグを装着する必要がある[5]。画像処理を使う場合には、対象とする物体の特徴量をシステムに登録し、事前に学習させる必要がある。しかし、すべての物体に事前にタグをつけたり、学習させたりすることは現実的ではないため、限られた物体が対象となる。さらに、対象外の物体を紛失することもある。

2つ目の課題は、システムが検知した物体を、患者に伝える方法である。物体を置き去りにするとスマートフォンから音が鳴り、物体の位置をスマートフォンの画面上で表示したり（例えば[6]）、物体に取り付けたタグ（受信機）から音が鳴ったり[7]する方法が一般的である。その他、Virtual Realityのゴーグルで場所を表示するシステム[8]も利用できるであろう。しかしアンケートによると、紛失物体が発見された状況において、「見てすぐにわかる状態」は27.9%だったという[9]。患者や高齢な介護者にとっては、いくらシステムが教えてくれても、既存の方法で物体の位置を探し当てることは容易ではない。

そこで本稿では、個別に物体の事前登録・学習を必要とせず、室内のあらゆる物体の逐次的な変化を検出することで紛失物体を探し当てるとともに、その物体を患者に直接届けるシステムとして、“自尊心を高めるスマートエアリアルハンド（**S**mart **A**erial **H**And for **S**elf-**R**especting **A**cquisition : Sahasra）”を提案する。提案するシステム：Sahasra（サハスラ）は、患者の記憶障害支援の一助となり、自尊心の低下を防ぐことが期待できる。

¹ 佐賀大学理工学部
Faculty of Science and Engineering, Saga University

2. 記憶障害支援システム “Sahasra”

Sahasra (サハスラ) の構成として、図 1 に複数カメラにより患者に必要な物体を検知する部分 (A) を、図 2 にエアリアルハンドにより患者の求める物体の移動部分 (B) を示す。(A) 物体検知部は、(A-1) 物体の移動検知部、(A-2) 物体位置の検出部、(A-3) 移動物体の分類部、(A-4) 音声入力部からなる。(B) 物体移動部は、(B-1) 目的物体の入力部、(B-2) 空中制御部、(B-3) ハンド制御部からなる。これらにより、拡張認知機能による記憶支援システムを実現する。

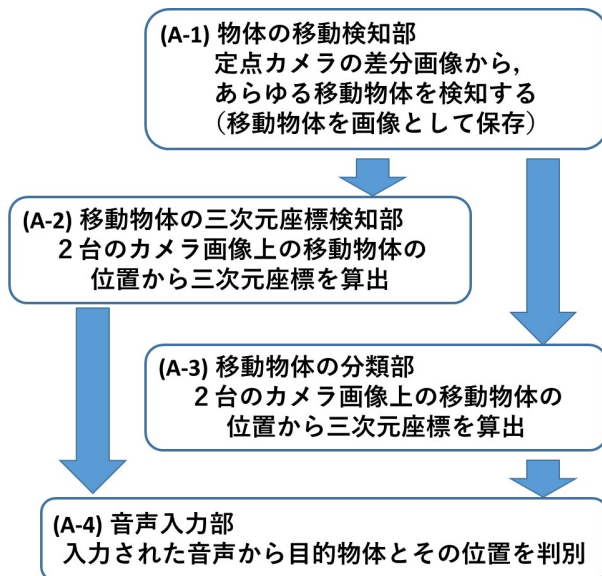


図 1: 物体検知部の手順

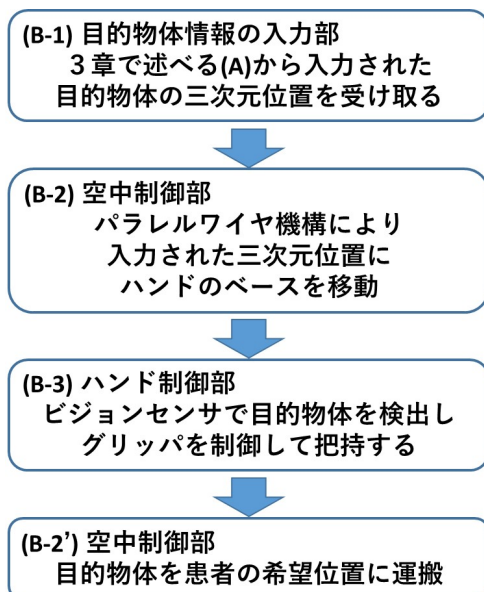


図 2: 物体運搬部の手順

3. Sahasra の物体検知部の構成

(A-1) 物体の移動検知部

物体が出現 (誰かが部屋に置いた) や消滅 (誰かが持ち去った) するたびに、その物体が何であるか記録するシステムを開発した[10][11]。検知する手順を図 3 に、検知の様子を図 4 に示す。

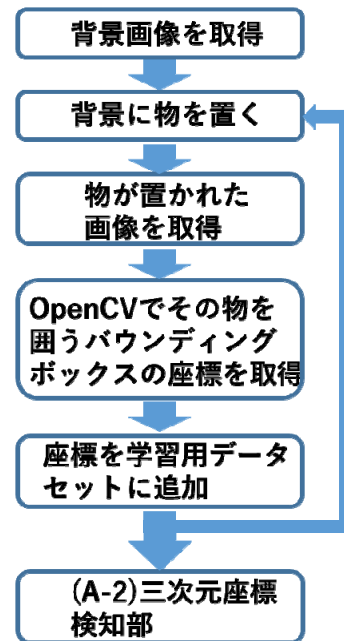


図 3: 差分画像からの移動物体検知手順

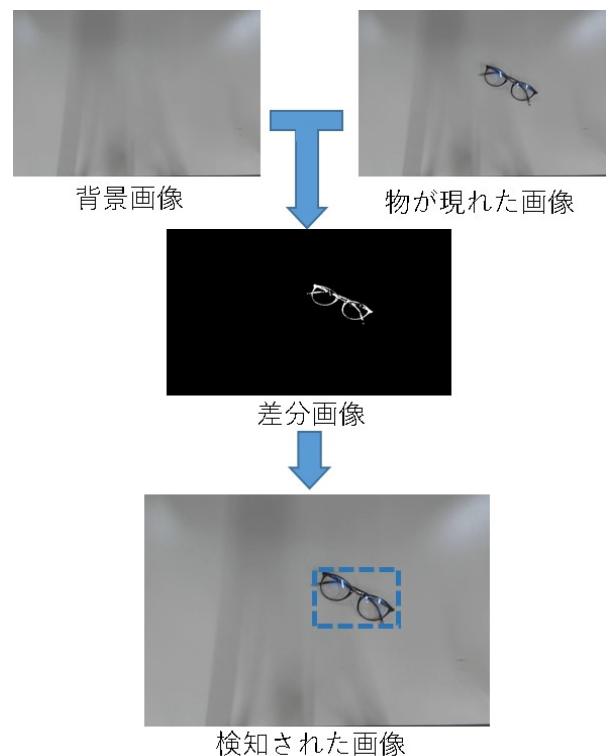


図 4: 移動物体を検知する様子

図3は、1台のカメラにより物体を検知して認識する過程を示している。システムは物が置かれる前の画像（背景画像）を取得する。図4では、わかりやすいように何も置かれていない背景画像を示すが、いろいろな物が置かれた状態の画像を「背景画像」として使用できる。次に物が置かれた画像（以下、「移動物体」）を取得する。つまり、動画を扱うわけではないが、静止画像を取得するたびに物が加わったり、消えたりすると、これらは「物が移動した」とみなすことができる。

図4に示すように、背景画像と移動物体の画像をOpenCV(Open Source Computer Vision Library [12])に入力すると、OpenCVで提供されている背景差分のアルゴリズム(BackgroundSubtractorMOG [13])により移動物体を検出して、移動物体のまわりのバウンディングボックス(矩形)の対角の2つの角の二次元座標を出力する。

(A-2) 移動物体の三次元座標検知部

前項(A-1)の検出方法を使って、2台の定点カメラのそれぞれで移動物体の二次元座標を求める。図5に示すように(A-2)では、2つの二次元座標から三次元座標を検出する[8]。ある観測点を複数のカメラで同時に観測すると、2本の直線の交点としてその観測点の三次元空間の座標が計算できる。この三角測量の原理を用いて三次元座標を検出する。

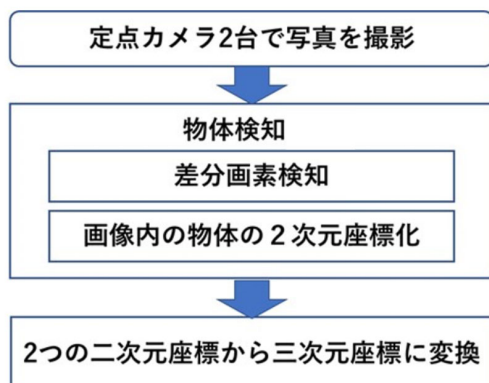


図5: 移動物体の三次元座標の検知

本研究[8]では、VR (Virtual Reality)ゲームの位置検知用トラッカーであるViveトラッカー[14]を定点カメラに装着して、定点カメラの位置と設置角度を検知する。移動物体の三次元位置は、空間処理の機能が豊富なゲームエンジンの一つであるUnity[15]を用いて計算する。

定点カメラの位置や角度、およびカメラ画像から取得した2つの二次元座標から、移動物体の三次元空間上の位置を計算し、Unity内で図6のように描画する。描画した2直線の最接近点の中点を移動物体の三次元座標とする。

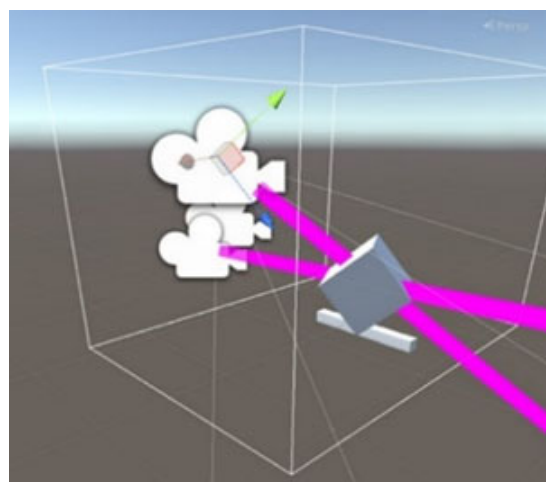


図6: Unity上での三次元計測の例

(A-3) 移動物体の分類部

図7の上段に示すように、(A-1)の手法により、一定時間毎に切り出された移動物体の画像は複数枚となる。OpenCVで提供されている、局所画像特徴量:SIFT (Scale-Invariance Feature Transform)から類似度を計算するアルゴリズムを用いて、移動物体の画像同士の類似度を計算する。SIFTは2つの画像の似ている点の場所、どのくらい似ているかを返す。この値に基づき、切り出された移動物体のうち、類似度が近い物体を、同一カテゴリに分類する。



図7: SIFTによるカテゴリ分類の例

この分類されたカテゴリごとに、「スマホ」や「ハサミ」などのラベルを手動で入力する。従来は切り出された画像の枚数(例えば数千枚)に対してラベルを付与する作業が必要であったが、この技術により、カテゴリ化された物品数に対するラベル付けのみで、物体の分類が可能となる。

(A-4) 目的物体の音声入力部

(A-2)および(A-3)により移動物体の位置と分類が識別されている。この情報に基づき、例えば、「3日前にここにあったスマホは、今、どこにある？」などの音声入力により、候補となる物体の画像と推定位置を表示することができる。例えば、図8では、「1時間前にここにあったティッシュはどこ？」という質問に対し、1時間の間に動いたすべての物体の位置と写真を表示して、ティッシュを検索している様子である。図8は、VRゴーグルへの表示を想定した画面であるため、「ティッシュ」に相当するラベルと、その他の物体でマーカの色を変えて表示している。本研究では、この情報をユーザに表示するのではなく、次章で述べる物体移動部に渡される。

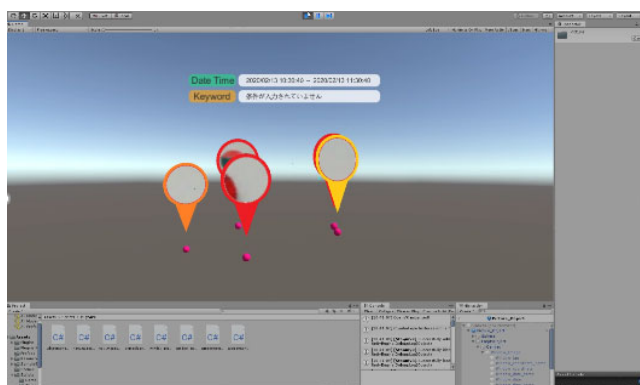


図 8: 1時間以内に動いたすべての物体を表示する例

4. スマートエアリアルハンドの提案

(B-1) 目的物体情報の入力部

前章(A)で検知された様々な移動物体の情報は、スマートエアリアルハンドによる物体運搬部に入力される。入力される情報は、患者が必要とする物体の位置と画像である。物体の位置は(B-2)空中制御部に送られ、物体の画像は(B-3)ハンド制御部に送られる。

(B-2) 空中制御部

図9に示すように、部屋の天井に取り付けた平行ワイヤ制御ロボットに取り付けたハンドで、検知した物体を持ち上げて患者に届ける。ワイヤ制御により、ハンドは部屋中のあらゆる場所に移動できることを目指す。

目標とする対象物をハンドで把持するために、まず平行ワイヤ制御ロボットを用いて、ハンドを目標対象物の上空まで移動させる。平行ワイヤ制御ロボットは図10に示すように4本のワイヤを用いた平行ワイヤ機構となっており、物体検知部から目標対象物の座標を取得し、現在のハンドの座標と取得した目標対象物の座標から必要なワイヤ操作量を算出し、目的位置までハンドが移動するようにモータを制御する。



図 9: 平行ワイヤによるハンドの空中制御の概念



図 10: 試作したハンドの空中制御部

試作機としてサーボモータ (GWS サーボ S125-1T/2BB [16]) を用いて平行ワイヤ機構部を作製した (図 10)。现阶段ではサーボモータを用いた位置制御を行っているのみであるため、ハンドの移動時に振動が発生してしまうため、今後、制振制御を用いて改善をする必要がある。

(B-3) ハンド制御部

ハンドは、物体検知部からの情報を得て、目標とする対象物のおおよその位置へと移動する。この移動は、空中制御部のワイヤメカニズムにより実現する。対象物を把持するためには、対象物に合わせたハンドの詳細な制御が必要になるため、ハンド自身にもビジョンセンサや制御システムを搭載する。

ハンド制御部の構成と概観を図11に示す。図11に示す通り、ハンド制御部はビジョンセンサ部、物体検出部、モータコントロール部、グリップ部で構成され、全体のおおよそのサイズは、 $12 \times 5 \times 27$ [cm]、重量は約 500[g]である。ビジョンセンサには、Intel 社製 RealSense Depth Camera D435[17]を利用する。RealSense は一般的な Web カメラとは異なり、2 台の赤外光を用いた視差から深度情報を取得することが可能で、その最小距離は 0.2[m]である。対象物の深度測定に基づいてハンドとの距離関係を推定する。

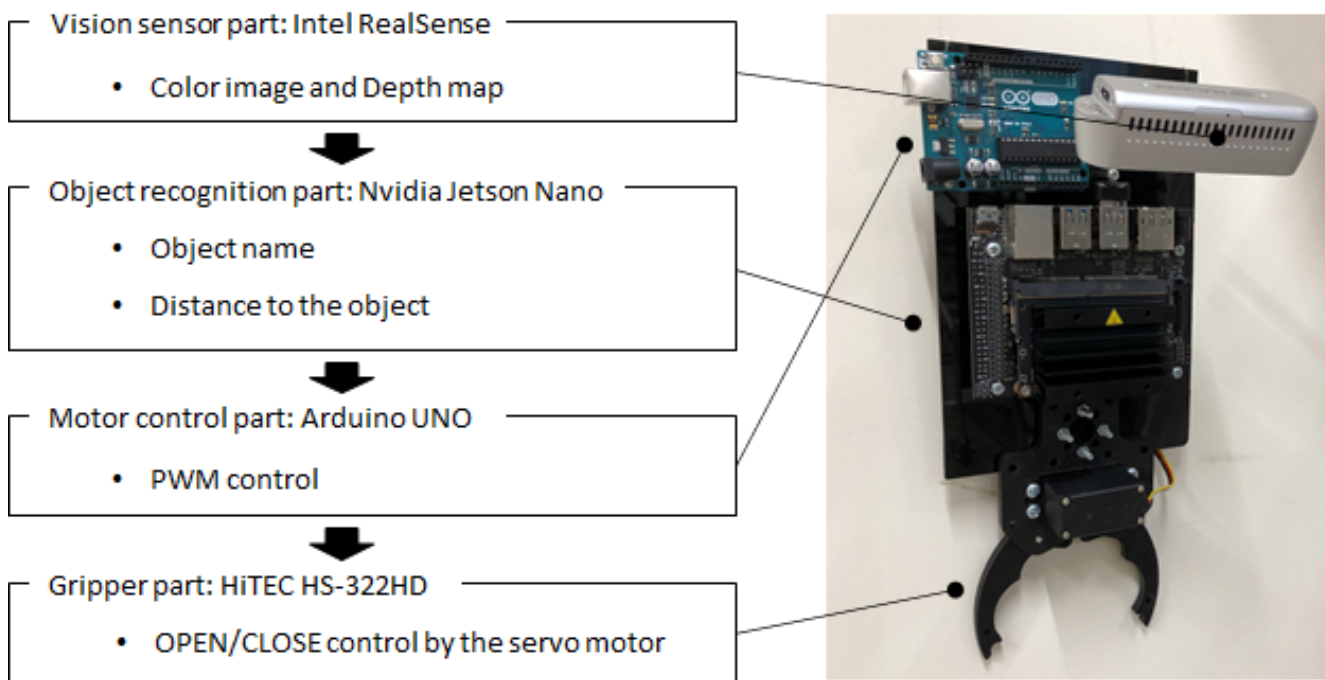


図 11 : ハンドの構成と概観

物体検出部には, NVIDIA 社製 Jetson Nano[18]を用いる. CPU には Arm Cortex-A57 のクアッドコア CPU, GPU には 128Maxwell アーキテクチャ, メモリには LPDDR4 を 4GB 搭載しており, 高速計算が可能である. USB 接続された RealSense を用いてキャプチャされた動画像に対して, 物体検出アルゴリズム YOLO [19]を適用する. この際, 対象物の検出矩形情報, および RealSense から得られる深度情報に基づいて対象物の位置推定を行い, 把持が可能と判断した場合にモータ制御部により把持動作が実行される.

モータ制御部には Arduino Uno[20]を用いる. Arduino Uno では, 物体検出部からの指令にしたがってグリップ部のモータ(Hitec 社製 HS-322HD[21])へ PWM 制御信号を出力し, 把持動作を実現する.

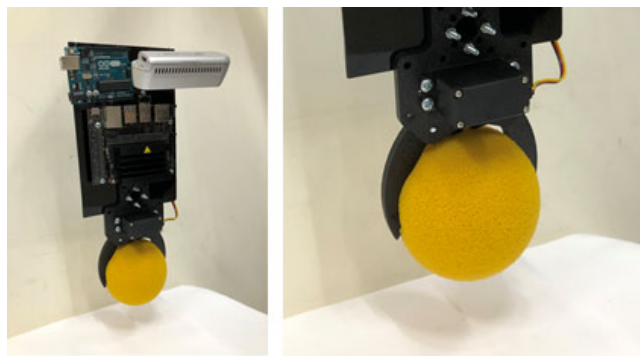


図 12 : ハンド制御例

制御の一例を, 図 12 に示す. 左に全体図, 右に拡大図を示す. 現仕様では, グリップは最大開口時で 10[cm], 把

持力は 3.7[kg.cm]程度であり, 身の回りのある程度の日用品であれば問題なく把持することができる.

現装置は試作段階にあり, まだ多くの課題が残されている. まず自由度がグリップの開閉に限られており, 対象物の姿勢に合わせてハンドの姿勢を変更することはできない. 把持後に対象物を持ち上げた際にもバランスを保つようなハンドの姿勢変更はできないため, これらを改善する必要がある. また, 開閉グリップ機構のみの単純構造であり, 把持する際に多くの制約がある点も今後の改善課題である. 一方で, 機構や制御システムの複雑化は, 重量や電源の取得などにも大きな影響を与えるため, デザインの最適化も課題である. 対象物の把持部位を最適化するなど, ソフトウェア的に解決できる点についても見極めながら, 全体の改良を図っていきたい.

5. おわりに

本稿では, 認知症患者の自尊心を確保による BPSD の低減を目指し, “自尊心を高めるスマートエアリアルハンド: Sahasra” を提案した. Sahasra (サハスラ) は, 患者の記憶障害に対する支援をして, 自尊心の低下を防ぐ.

従来の記憶支援システムの課題であった事前登録・事前学習の負担を減らす(A)物体検知部を提案した. これにより, 個別に物体の事前登録・学習を必要とせず, 室内のあらゆる物体の逐次的な変化を検出することで紛失物体の検知ができると期待される. また, 検知した物体を, 患者に伝えて届ける (B) 物体移動部を提案した. これにより, 検知

した紛失物体を直接患者に届けることが可能になる。

これらの提案は、従来、人間が持っていた認知機能を提案システム: Sahasra が拡張するという意味で、拡張認知機能の一つであると考えられる。拡張認知機能により、認知症患者を支援する試みは始まったばかりであり、有効性の実証にまでは至っていない。今後、システムのさらなる開発に加えて、実証実験により有効性を検証する予定である。

謝辞:本研究の一部は JSPS 科研費基盤研究 B (17H01950), 別の一部は科研費基盤研究 C (19K04296) の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 橋本衛. BPSD の治療. 日本老年医学会雑誌, 2010, vol. 47, no. 4, p. 294-297.
- [2] 高橋智. 認知症の BPSD. 日本老年医学会雑誌, 2011, vol. 48, no. 3, p. 195-204.
- [3] 岡原浩平, 小川修平, 新明拓也, 岩井大輔, 佐藤宏介. (2014). 身体拡張型インタフェースのための前腕の投影表現に関する基礎検討. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 2014, vol. 19, no. 3, p. 349-355.
- [4] “MAMORIO”. <https://mamorio.jp/>, (参照 2020-07-31).
- [5] 笹川真奈, 池松香, 椎尾一郎. (2020). RFID タグ検出履歴の蓄積を利用した物探し支援システム. ヒューマンインタフェース学会論文誌, 2020, vol. 22, no. 2, p. 187-200.
- [6] “忘れ物防止タグ”. <https://www.esco-net.com/wcs/escort/items/ItemDetail/EA864CZ-21>. (参照 2020-07-31).
- [7] Ever shop. キーファインダー, https://www.facebook.com/evershop.life/?ref=page_internal
- [8] 松本晃輔, 川端健介, 大島千佳, 中山功一. 複数カメラ画像からの 3 次元位置の検知・表示システムの研究開発. 人工知能学会全国大会論文集 第 34 回全国大会, 2020, セッション ID: 4D2GS1204.
- [9] 出尾卓朗, 柳沼良知, 広瀬洋子. 認知症高齢者の在宅介護における「もの探し支援」技術~ 電波を利用した「もの探し支援」による介護負担の低減に向けて~. 研究報告高齢社会デザイン (ASD), 2016, vol. 2016, no. 1, p. 1-6.
- [10] Ryodai Hamasaki, Koichi Nakayama. A Deep Learning System that Learns a Discriminative Model Autonomously Using Difference Images, Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion, ACM, 2019, p. 1683-1685.
- [11] 大島千佳, 田中竜二, 濱崎亮大, 中山功一. 認知症者の介護を支援するシステムの予備検討. 情報処理学会研究報告, 2019, 2019-AAC-11(2).
- [12] “OpenCV”. <https://opencv.org/>, (参照 2020-07-31).
- [13] KaewTraKulPong, P. and Bowden, R.. An improved adaptive background mixture model for real-time tracking with shadow detection, Video-based surveillance systems, Springer, Boston, MA, 2002, pp. 135-144.
- [14] “Vive トラッカー”. <https://www.vive.com/jp/vive-tracker/>, (参照 2020-07-31).
- [15] “すべての人に Unity を”. <https://unity.com/ja>, (参照 2020-07-31).
- [16] “GWS サーボ S125-1T/2BB”. <http://akizukidenshi.com/catalog/g/gM-01723/> (参照 2020-07-31)
- [17] “Depth Camera D435 - Intel® RealSense™ Depth and Tracking Cameras”. <https://www.intelrealsense.com/depth-camera-d435/>, (参照 2020-07-31).
- [18] “モダン AI のパワーを数百万のデバイスへ-NVIDIA Jetson Nano”. <https://www.nvidia.com/ja-jp/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-nano/>, (参照 2020-07-31).
- [19] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., and Farhadi, A.. You only look once: Unified, real-time object detection. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2016, pp. 779-788.
- [20] “Arduino Uno Rev3 | Arduino Official Store”. <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>, (参照 2020-07-31).
- [21] “スタンダードヘビーデューティ サーボ HS-322HD(3.7kg/0.15s) | Hitec Multiplex Japan Inc.”. <https://hitecrd.co.jp/products/servo33322s/>, (参照 2020-07-31).