

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01805

研究課題名（和文）オブジェクトピッキングの観点に基づく物品配列パターンと把持動作計画

研究課題名（英文）Modeling object arrangement patterns and grasp-motion planning from the viewpoint of object picking

研究代表者

永田 和之（Nagata, Kazuyuki）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員

研究者番号：10357634

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,480,000円

研究成果の概要（和文）：小規模店舗や物流倉庫など、多くの場面で物品は規則的な配列パターンで置かれている。オブジェクトピッキングにおける把持戦略は物品配列パターンに応じて選択されるが、これまで物品配列パターンに注目した研究はなかった。本研究は、物品配列パターンに注目したオブジェクトピッキングに関するものである。本研究では、まず物品配列をモデル化し、配列物品の把持が行えるための条件を導出した。また、人間工学実験により配列物品の把持戦略について調べた。更に、物品配列パターンの認識手法を開発し、実機を用いた実験により有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

物体把持の研究において、これまで物体形状のモデル化に関する研究が多数行われているが、物品配列に注目した研究はなく、物品配列をモデル化した研究は本研究が初めてである。また物体認識においても、個々の物品の認識については一般物体検出の研究が多数行われているが、物品配列を認識した研究は私が知る限り無い。物品配列を認識することで、物と物の関係が分かり、本研究成果の一つである陳列商品の欠品、異商品混入、商品転倒・反転といった陳列の異常が検出できる。配列物品のピッキングや認識は小規模店舗や物流倉庫の自動化に必須であり、本研究成果は学術的にも社会的にも非常に意義が高い。

研究成果の概要（英文）：In many situations, such as stores and distribution warehouses, objects are placed in regular arrangement pattern. The grasping strategy for object picking is selected according to the object arrangement pattern. But there has been no research on object picking focusing on the object arrangement pattern. This research is related to object picking focusing on the object arrangement pattern. In this study, we first modeled the object arrangement and derived the conditions for grasping the arranged objects, and investigated the grasping strategy of the arranged objects by ergonomic experiments. Furthermore, we developed a method for recognizing the object arrangement pattern, conducted experiments on picking up arranged objects with physical robot and confirm effectiveness.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：物品配列 物品配列モデル 物品配列パターン認識 把持戦略 オブジェクトピッキング グラスピング
ロボットハンド

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

我々の身の回りを観察すると、物品が乱雑に置かれていることは少なく、むしろ物品を整頓して規則的に配列して置かれていることが多い。特に小規模店舗や物流倉庫に陳列・収納されている物品は、美しい商品ディスプレイや、収納効率を向上させるために、同じ種類のアイテムをまとめて、積み重ねたり、整列したりして規則的な配列パターンで置かれている。物品が規則的に置かれているとき、配列パターンに応じて隣接物体により物品の面が隠蔽される。そのため物品把持において指がアクセスできる物品上の面が制限される。このときロボットは、単純な指の開閉動作だけでは物品把持が行えないことが多く、1) 物品間の隙間に指を挿入する、2) 障害となっている物品を移動する、3) 対象物に操作を加えて隠蔽されている把持面を表出させる、といった把持戦略が必要になる。物品のどの面が他の物体により隠蔽されるかは、物品の配列パターンに依存する。そのため、規則的に配列された物品のピッキングでは、物品の配列パターンに応じた把持戦略が必要になる。裏をかえせば、配列された物品のピッキングでは、同じ配列パターンで置かれた物品群に対して共通の把持戦略を繰り返し適用することができる。これまで、個々の物品の形状に注目して乱雑に置かれた物品のピッキングに関する研究は多数実施されている。しかし、物品の配列パターンに注目したオブジェクトピッキングの研究は行われていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、物品配列パターンに注目したオブジェクトピッキングの基盤技術を開発することである。規則的に配列された物品のピッキングを行うためには、物品配列パターンを統一的に扱える配列モデルが必要であり、物品配列パターンを認識できる必要がある。ところが、これまで物品配列モデルはなく、物品配列パターンの認識手法も確立されていない。本研究では、まず物品配列をモデル化し、物品配列パターンに対する把持戦略の適用頻度について調べる。次に物品配列パターンの認識手法を開発し、最後にロボットによる配列物品把持の実証実験を行う。

3. 研究の方法

(1) 物品配列のモデル化

ロボットで物体を把持するためには、指と物体とが接触する必要がある。物体が配列して置かれているとき、配列パターンに応じて物体の面が隣接物体により隠蔽され、指が物体にアクセスできない状況が生じる。そこで、物体面への指アクセスの観点から物品配列のモデル化を行う。

(2) 物品配列パターンと把持戦略

物品が同じ配列パターンで置かれていても、物品の取り方には複数通りの方法が考えられる。そこで被験者実験を実施し、物品配列パターンに対する物品の取り方をビデオで撮影し、把持戦略の出現頻度を調べる。特に、物品と物品の間に隙間がある場合について、隙間が把持戦略に与える影響について調べる。ここでは、物品間の隙間を一定間隔でランダムに変更して被験者に提示し、物品を取り出してもらい、このとき隙間に対する手のサイズも把持戦略に影響を与えることから、被験者の手のサイズも計測する。物品の取り方は、物品のどの面に、どのような操作を加えたか、により分類する。これにより把持戦略の選択指針が得られるものと期待される。

(3) 物品配列パターン認識

機械学習により、環境シーンの中で同じ把持戦略が適用できる領域を切り出す物品配列パターン認識手法を開発する。ここでは、一般物体検出による個別アイテムの Bounding Box（以下 BB）の形状と分布から物体配列を認識する手法と、物品配列パターンを直接アノテーションして学習する二つの手法を開発する。また、物品配列パターンを認識することで、物と物の関係が得られることから、商品陳列における欠品や異商品混入、商品の転倒・反転が検出できる可能性がある。商品の欠品や異商品混入、商品転倒・反転は陳列の乱れとして現れる。そこで物品配列パターンから陳列の乱れを検出する手法についても開発する。

(4) 実機による検証

実機を用いて、配列された物品を取り出す実験を行う。実験システムは、マニピュレータと 3D ビジョンで構成し、マニピュレータは既存のロボットアームに独自に開発したハンドを取り付ける。ここでは、実際のロボットハンドで配列物品をピッキングするときに応用できる把持戦略を物品配列モデルを考慮して列挙し、被験者実験の結果を参考に把持戦略を選択して、物品配列パターン認識により把持戦略を切り替えて物品を取り上げる。

4. 研究成果

(1) 物品配列のモデル化

把持形態に応じて物品を直方体または六角柱でモデル化し、物品モデル上の隠蔽面の組合せと、面を隠蔽している隣接物体の可動性から物品配列をモデル化した。隣接物体の可動性を考慮したのは、隣接物体が可動の場合には、その物体を移動するという把持戦略をとることができ、把持戦略の選択に影響を与えるからである。図1に代表的な直方体モデルの物品配列パターンを示す。ここで、物品の一部の面が隠蔽されている場合や、配列された物品間に隙間がある場合は、その面が完全に隠蔽されている配列パターンと開放されている配列パターンの中間状態と見なす。また、ハンドのタイプおよびそのメカニカルな制限から物品モデル上で把持面となりうる面の組合せを把持パターンとし、物品配列と把持パターンが与えられたとき、隣接物体の配置および把持面へのアクセスから物品把持が行えるかどうかを判定する条件を導出した。

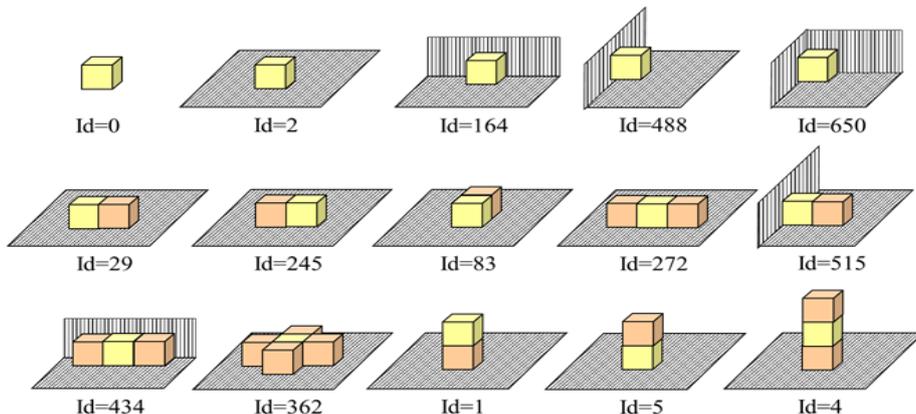


図1 代表的な物品配列パターン

配列された物品のピックアップは、物品配列パターンをノードとする状態遷移図で表すことができる。ノード間の遷移には、ロボットのハードウェアに応じて動作を割り当て、初期状態から把持可能な状態に至るまで辿った状態遷移の動作列から動作戦略を生成することができる。

(2) 物品配列パターンと把持戦略

規則的な配列で陳列された物品把持において、物品間の隙間が把持戦略に与える影響を調べるために人間工学実験を行った。人間工学実験では、代表的な物品配列パターンである平積みと棚差し状態で置かれた木板を被験者に取り出してもらい、そのときの把持操作をビデオで撮影した。物品配列は平積み、棚差しともに、対象物の上面(Vspace)と右面(Hspace)に5mm刻みで隙間を変更してランダムに被験者に提示した。被験者数は16名である。映像解析において、物品操作は、対象物の運動(並進: $Trans_{\{+, -\}}\{x, y, z\}$ 、回転: $Rot_{\{+, -\}}\{x, y, z\}$)と操作を加えた面で記述した。図2に平積みと棚差しで置かれた物品把持の代表的な把持戦略の隙間に対する出現頻度を示す。平積みでは上面に指が挿入できる隙間がある場合は把持戦略S1が優先的に選択された。上面の隙間が小さく指の挿入が難しいときは把持戦略S2が選択された。この他に、上の隙間が大きいときに Rot_{-y} (Front)が、上の隙間が小さいときに Rot_{+z} (Front)が観察されたが極めて少数である。棚差しでは、上面の隙間が小さく、側面の隙間が大きいときは把持戦略S3が、上面の隙間が大きく、側面の隙間が小さいときは把持戦略S4が選択される傾向があった。また、上面、側面に十分な隙間がある場合は、把持戦略S3とS4の選択はほぼ同数であった。この他に Rot_{+z} (Front)や Rot_{-x} (Top)が観察されたが稀である。これらの結果から、優先的に選択された把持戦略を見ると、隠蔽された把持面の表出操作を行った指を一旦物品から離して持ち直すのではなく、表出操作から把持にいたるまでの動作は連続的であり、できるだけ少ない工程で把持操作を行っている。

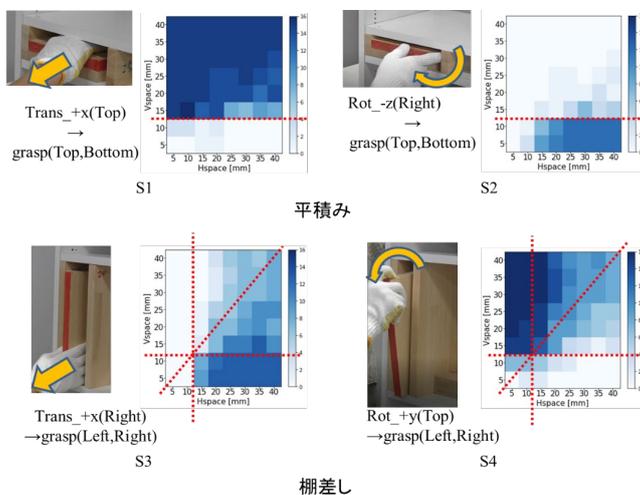


図2 平積み・棚差しにおける把持戦略

(3) 物品配列パターン認識手法の開発

機械学習により物品配列パターンを認識し、シーンにおいて同じ把持戦略が適用できる領域の切り出しを行った。物品配列パターン認識は、(3-1) 一般物体検出により個々の物品の Bounding Box (BB)を検出して認識する手法と、(3-2) 物品配列パターンを直接学習する手法を開発した。

(3-1) 一般物体検出による物品配列パターン認識

シーンの二次元 RGB 画像を入力として、一般物体検出により個々の物品の Bounding Box (BB)を検出し、BB の中心座標、幅、高さを要素とする 4 次元の特徴ベクトルを定義し、DBSCAN によりクラスタリングを行うことで領域のセグメンテーションを行った。次に、同じクラスタ内の物品の BB を SOM で 1-of-K ベクトルに変換し、その和を取って Bag of Words を作成し、SVM によりセグメンテーション内の配列パターンの識別を行った。実験では、棚差し、平積み、面陳列状態で置かれた本の識別を行った。図 3(a)は本の一般物体検出の結果を示し、(b)は物品配列パターンの識別結果を示す。

ところで本手法は、一般物体検出により物体 BB を求めているため、物体の種類毎に学習しなければならないこと、物体の種類に応じて BB の形状が縦長・横長といったように変わること、また、従来の一般物体検出手法では密に陳列された物体検出が難しいことが指摘されている (Goldman:CVPR 2019) ことから、物品配列パターンをアノテーションして学習することにした。



図 3 本の物品配列パターン認識

(3-2) 物品配列パターンの学習による認識

陳列された物品群の水平、垂直、奥行方向の整列を三つの基本配列パターンとして物品配列を学習した。また、異なった方向の物品配列 BB の交差から、配列 BB に含まれる物品を検出する手法を開発した。配列 BB が交差していない部分については、配列 BB 内で既検出の物品があれば、その物品 BB のサイズと配列 BB のサイズを比較することで物品 BB が検出できる。物品が一列に並んでいる場合には、従来の一般物体検出手法で物品 BB を検出し、配列 BB のサイズと比較することで他の物品 BB が検出できる。尚、本手法は、配列 BB に含まれる物品の種類が同じであることを前提にしている。

これは、小規模店舗では同じ種類のアイテムをまとめて陳列していることによる。機械学習でも、形状・サイズの異なる物品の配列パ

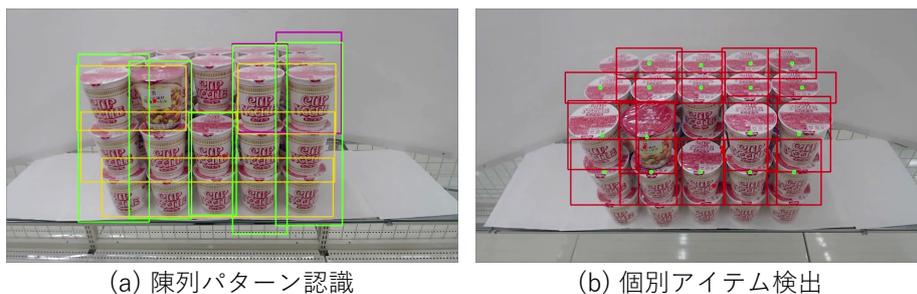


図 4 物品配列パターン認識

ターンを区別するようにアノテーションしている。

図 4 は本手法により認識した物品配列パターンと個別アイテムの検出例である。図 4(a)で、水平、垂直、奥行方向の配列 BB は、それぞれ黄、緑、紫で色分けしている。

(3-3) 陳列の乱れの検出

配列して陳列された物品の pick and place の動作計画では、まず 1) どの物品を把持し、2) どこに置くか、を決める必要がある。配列物品の把持対象や置くべき場所は、異商品の混入や商品の反転・転倒・欠品といった陳列の乱れとして現れる。上記二つの手法による物品配列パターン認識では、配列 BB と配列 BB に含まれる物品 BB が得られ、配列パターンに含まれ



図 5 異商品混入の検出

る物品数が分かる。商品の欠品状態は、欠品の無い配列 BB と欠品状態の配列 BB に含まれる商品数の比較から検出できる。異商品の混入や商品の反転・転倒といった陳列の異常は、配列 BB に含まれる物品 BB のテクスチャの比較から検出できる。本研究では AKAZE 特徴量を用い、配列 BB に含まれる商品 BB について総当たり方式で特徴量マッチングを行い、陳列の乱れを検出した。図 5 は、商品を正面から撮影した商品画像と物品 BB の AKAZE 特徴量マッチングから商品を特定し、異商品混入を検出したものである。

(4) 実機による検証

独自に開発したロボットハンドを用い、陳列した物品を取り出す実験を行った。ロボットハンドは二指ハンドと吸着ハンドのハイブリッド型とした。ハンドは、棚の奥にある物品にアクセスするために、ハンドのベース幅はできるだけコンパクトであることが望ましい。また、二指ハンドを物品間の隙間に挿入するためには、指の開閉は直線平行運動であることが望ましい。直線平行運動が行えるハンドの機構としてラック・アンド・ピニオンや送りねじ機構を用いたものが開発されているが、ハンドのベース幅は指の開閉ストローク幅より大きくなり、狭隘なスペースにハンドを挿入するのに不利となる。そこで二指開閉機構としてスコットラッセル機構と平行リンクを組み合わせた機構を考案した。吸着ハンドは伸縮アームを備え、先端の吸着パッドは 90° 回転できるようにした。図 6 に開発したハンドの外観を示す。

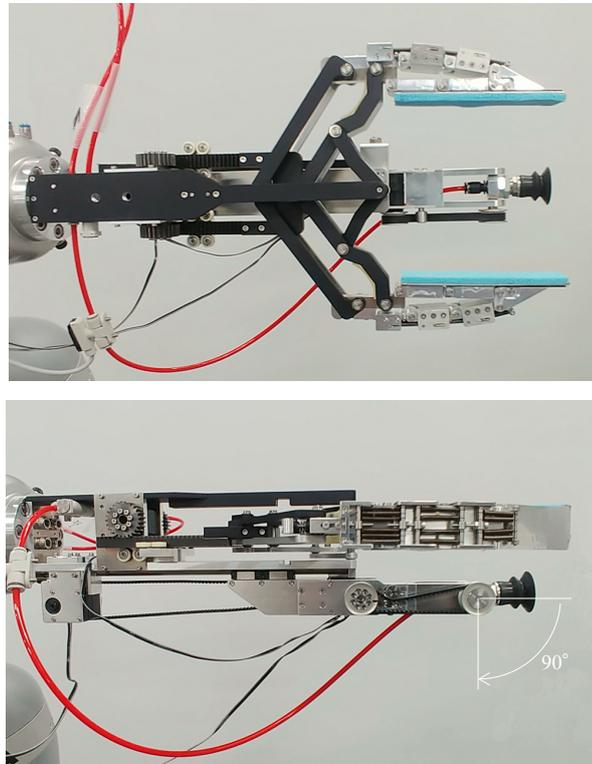


図 6 開発したハンド

実験は、日常でよく見られる棚差しと平積みで置かれた物品の取り出しを行った。把持戦略は、人間工学実験で得られた知見をもとに、少ない動作ステップで多くの物品に共通に適用できるものとし、棚差しでは図 7 の S1 を、平積みでは S2 を適用した。まず、物品配列パターン認識により物品配列を特定するとともに配列 BB に含まれる物品 BB を検出した。これにより、把持戦略が選択される。次に、棚差しでは端の物品から、平積みでは一番上の物品から、物品 BB の点群とモデルとの照合を行い、Shape Index と呼ばれる三次元特徴量を用いて位置姿勢を求め、モデルから把持点を得た。二目以降の物品の位置姿勢推定は、前に得られた物品の位置を、棚差しでは物品配列領域の正面に沿って水平方向に、平積みでは垂直方向に平行移動し、物品 BB 内の点群とモデルとの照合により位置姿勢推定を行った。これにより、同一配置パターン領域内での二回目以降の位置姿勢推定において初期位置合わせにかかる計算コストを削減することができる。更に、配列物品群は同じ姿勢で置かれていることを考慮すると、位置のみの推定で良く、更に計算コストが削減できる。図 8 に実験シーンを示す。

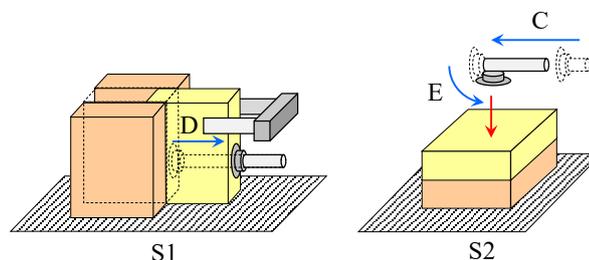
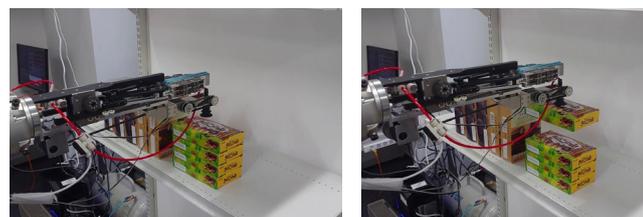


図 7 適用した把持戦略



棚差し商品のピックアップ



平積み商品のピックアップ

図 8 実機による配列物品のピックアップ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Asaoka Tadashi, Nagata Kazuyuki, Nishi Takao, Mizuuchi Ikuo	4. 巻 5
2. 論文標題 Detection of object arrangement patterns using images for robot picking	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ROBOMECH Journal	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40648-018-0118-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 NAGATA Kazuyuki, HANAI Ryo, YAMANOBE Natsuki, NAKAMURA Akira, HARADA Kensuke	4. 巻 85
2. 論文標題 Task description based on coordination of primitive actions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Transactions of the JSME (in Japanese)	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/transjsme.18-00232	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kazuyuki Nagata, Takao Nishi	4. 巻 -
2. 論文標題 Modeling object arrangement patterns and picking arranged objects	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Robotics (Accepted)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 朝岡忠, 永田和之, 水内郁夫
2. 発表標題 一般物体検出YOLOを用いた物体の種類および配置パターンの識別
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 千葉貴文, 永田和之, 佐藤大祐, 金宮好和
2. 発表標題 配列された物品のピッキングにおける把持計測
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 朝岡忠, 永田和之, 水内郁夫
2. 発表標題 ロボットの把持戦略生成のための一般物体検出YOLOを用いた物体の種類および配置パターンの識別
3. 学会等名 第20回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU 2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 朝岡忠, 永田和之, 水内郁夫
2. 発表標題 規則的に配列された把持物体群の集合体としての抽出
3. 学会等名 第35回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 千葉貴文, 永田和之, 多田充徳, 佐藤大祐, 金宮好和
2. 発表標題 特定の物品配列パターンに基づく把持戦略の分類
3. 学会等名 第35回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 千葉貴文, 永田和之, 多田充徳, 朝岡忠, 西卓郎, 佐藤大祐, 金宮好和
2. 発表標題 配列された物品把持における手指の運動解析
3. 学会等名 SI2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 朝岡忠, 永田和之, 西卓郎, 水内郁夫
2. 発表標題 ロボットピッキングのための把持物体群の配列パターン検出
3. 学会等名 第23回ロボティクスシンポジア
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西卓郎, 朝岡忠, 永田和之, 堂前幸康
2. 発表標題 陳列物体操作のための配置パターンを考慮した三次元位置姿勢推定手法
3. 学会等名 第22回 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 朝岡忠, 永田和之, 西卓郎
2. 発表標題 物品群の配列パターンと隙間が把持戦略に及ぼす影響
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津田浩平, 永田和之, 西卓郎, 大西謙吾
2. 発表標題 機械学習によるコンビニ商品陳列パターン認識
3. 学会等名 第32回自律分散システム・シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 津田浩平, 永田和之, 西卓郎, 大西謙吾
2. 発表標題 機械学習によるコンビニ商品の検出
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 津田浩平, 永田和之, 大西謙吾
2. 発表標題 小規模店舗の商品陳列における異商品混入の検出
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 津田浩平, 永田和之, 大西謙吾
2. 発表標題 小規模店舗における商品陳列の乱れ検出
3. 学会等名 SI2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永田和之
2. 発表標題 指の機能的分割に注目した多指ハンドによる物体操作
3. 学会等名 第26回ロボティクスシンポジア（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 物品群の配置状態を認識するための情報処理方法、装置及びプログラム	発明者 永田和之、西卓郎	権利者 産業技術総合研究所
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020- 8386	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	多田 充徳 (Tada Mitsunori) (70392628)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・研究グループ長 (82626)	
研究分担者	山野辺 夏樹 (Yamanobe Natsuki) (90455436)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員 (82626)	
研究分担者	万 偉偉 (Wan Weiwei) (20760002)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・客員研究員 (82626)	
研究分担者	原田 研介 (Harada Kensuke) (50294533)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・特定フェロー (82626)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------