

令和元年6月17日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26240038

研究課題名(和文) 言語・非言語行動の統合オントロジーに基づくサービスロボット

研究課題名(英文) Service Robots Based on an Integrated Ontology of Verbal and Nonverbal Behaviors

研究代表者

久野 義徳 (KUNO, Yoshinori)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：10252595

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,100,000円

研究成果の概要(和文)：研究代表者は介護ロボットの実現に向けて、哲学者と共同でオントロジーを用いて対話を通じて物体を認識する研究と、社会学者と共同で人間とロボットの非言語行動を通じたインタラクションについて研究を行ってきた。本研究課題ではこの2つの研究を進展・統合し、物体を指示する人間の多様な言語表現を認識し、また、特定のジェスチャを決めておかなくても自然な動作でロボットを呼ぶことができるロボットを開発した。そして、実際の介護施設で動作試験を行い有用性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高齢化社会を迎え、高齢者を支援するサービスロボットの開発が進んでいる。このようなロボットでは高齢者が簡単に使えるように言語や非言語行動で指示ができることが望まれる。しかし、使用する言葉を制限したり、指示ごとに特定のジェスチャのパターンを決めるのでは、使いやすさとはいえない。本研究はこのような問題の解決を目指したもので、例えば取ってきてもらいたい物体について様々な表現をしても理解でき、また用があるときに自然に出るジェスチャを認識できるロボットを実現したものである。

研究成果の概要(英文)：In this research, we have combined and extended our two previous interdisciplinary studies with philosophy and sociology. The former is to recognize objects through natural language interaction with users based on an ontology, and the latter is to investigate interaction through nonverbal behaviors. We have developed a robot system that moves around a care facility and finds elderly people calling it by gestures. We do not need to specify any gesture patterns in advance but the robot can still recognize natural gestures intended for calling. It can also recognize objects indicated by users. Even in cases where the robot cannot automatically recognize objects at first, it can ask the users to verbally provide information about the objects to complete its tasks. Using our ontology, the robot can understand complex verbal expressions made by humans, where they could indicate the same things by different words or vice versa. We demonstrated the robot in an actual care facility.

研究分野：ヒューマンロボットインタラクション

キーワード：コンピュータビジョン 知能ロボット ヒューマンロボットインタラクション マルチモーダルインタフェース オントロジー エスノメソドロジー

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

人間の周りにいて、人間を助けてくれるサービスロボットの実現が期待されている。特に、今後の高齢化社会に向けて介護ロボットの必要性が高まっている。実際のサービスを行うためにはロボットの機構などの開発も必要だが、研究代表者は人間とロボットのインタラクションの部分に絞って研究を進めてきた。具体的には以下の2つの異分野との融合研究を行ってきた。一つは哲学者とのオントロジーを用いた物体認識に関する研究である。依頼の中には、ものを取ってきて欲しい場合など、対象となる物体が含まれる場合がある。ロボットは依頼を実行するためにその物体を認識する必要がある。しかし、画像からの認識は必ず成功するとは限らない。その場合、ロボットは人間に物体の属性や他の物体との位置関係などの情報をことばで教えてもらい、認識を試みる。人間の用いる多様な言語表現に対応したオントロジーを構築して、対話を通じて物体を認識できる技術を開発した。もう一つの研究は社会学者との視線やジェスチャなどの非言語行動を通じたインタラクションに関する研究である。介護施設での介護士と高齢者のインタラクションの社会学的分析により、大声を出して呼ぶようなことをしなくても非言語行動をうまく利用して高齢者が介護士を呼んでいることを見出した。そして、このような非言語行動で対応できるロボットを開発した。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、上の項目で述べた2つの研究を進展、統合することにより、あらかじめ使用する言語や非言語行動を決めることなく、自然に表出される言語や非言語行動により、依頼をしたい人を見つけて、そして依頼の中に現れる物体を認識できるサービスロボットのための技術を開発することである。具体的には、介護施設内などを動き回り、ロボットに用がある人を自然な非言語行動を通じて認識し、その人のところに行き、ものを取って来るなどの指示を理解できるロボットを実現することである。

### 3. 研究の方法

(1) 介護施設での人間同士のインタラクションの分析：介護施設で介護士と高齢者のインタラクションの様子をビデオで撮影する。それを社会学のエスノメソドロジーの方法で分析し、適切にインタラクションが進むための言語・非言語行動を明らかにする。

(2) 言語・非言語行動の統合オントロジーの構築：前項の成果をもとにロボットが人間の指示を理解するのに利用できるオントロジーを構築する。

(3) 介護ロボットシステムの開発と実環境での実験：介護施設において、施設を巡回しながら、ロボットを非言語行動で呼ぶ人を見つけ、その人のところに行き、その指示を理解できるロボットを開発する。実際の介護施設で運用実験を行い、有効性を実証する。

### 4. 研究成果

(1) 空間位置関係等に関するオントロジーの構築とそれを利用した対話物体認識

ものを取ってきて欲しいというような依頼の場合、対象の物体の名称が言われれば自動処理によりその認識を試みる。その物体が認識できない場合は、その物体に関する情報を自然言語による対話を通じて教えてもらい認識を行う(対話物体認識)。しかし、人間の用いる自然言語には多様性がある。たとえば、「丸い」と言った場合、球を指すこともあれば、円を指すこともある。このような多様な自然言語と物理属性の関係の知識をオントロジーとしてまとめ、指示された物体を認識できるロボットシステムについては、この研究課題以前から研究していた。本研究課題では、その研究をさらに進めた。特に、それまでは形、色、材質などその物体が固有にもつ属性についての研究が主体だったが、物体間の空間位置関係について検討を行った。本研究課題の研究期間中に深層学習を用いることにより自動の物体認識の性能が飛躍的に向上した。したがって、自動認識で何も認識できないという場合は少なくなり、たとえ指示された物体が名称からだけでは認識できなくても、その場にある他の物体のいくつかは自動認識できるという場合が多くなった。そこで、自動認識できた物体を告げ、対象物体のそれに対する空間位置関係について自然言語で指示してもらうことが有効であろうと考えて研究を行った。

空間位置関係に関しても人間の用いる表現は多様であり、多義である。たとえば、「コップの右」と「テーブルの右の方」では、同じ「右」という単語が使われているが、その表す空間位置関係は異なる。前者は離れた物体間の関係を示すのに対し、後者はテーブルの面の中での位置を示す。また、「手前」という言葉は単独で使われれば、「聞き手」(あるいは「話し手」)に一番近いものを指すが、「〇〇の手前」と言うように、基準になる物体との位置関係を示す場合もある。そこで、5個から10個程度の物体を様々な位置関係に配置したシーンの画像を155枚用意し、それを33人の大学学部学生に見せて、指定した物体を他の物体との位置関係で示してもらい、どのような表現が用いられるかを調べた。その結果をもとに、空間位置関係についての知識をまとめたオントロジーを構築した。

図1にこのオントロジーを用いた指示物体の認識の例を示す。深層学習を用いた自動物体認識でいくつかの物体は認識されている。その結果が中央に示されている。ここで、青色で囲まれた3つは確信度が高く認識されている物体で、赤色の2つは確信度が低い物体(実際、図で

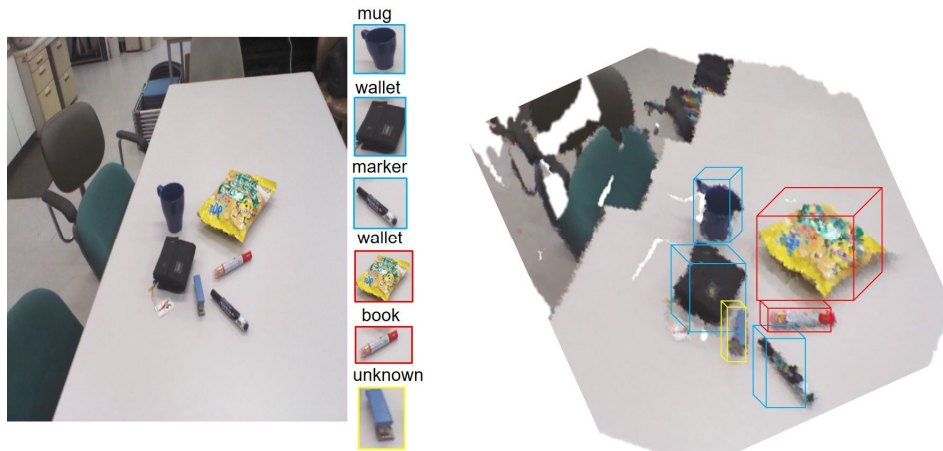


図1 空間位置関係に関する対話物体認識の例

は認識結果の第一候補が示されているが誤認識されている)黄色は不明の物体である。このとき「ホッチキスを取って」と言われたとする。ホッチキスは認識されていないので、認識できているマーカーとの位置関係をユーザに聞く。ユーザから、「左」という情報を得ることにより、黄色で囲まれた不明の物体がホッチキスであることが認識できる。

### (2)非言語行動による依頼の開始

人間の非言語行動の記述に関しては、今回は、サービスロボットへの依頼に関するものに限った。特に依頼したいことがある場合にロボットを呼ぶ行動に関して検討した。ジェスチャでロボットに指示を与える研究は多くあるが、それらのシステムでは事前にどのようなジェスチャはどのような指示であるかを決めておいて、ユーザはそれを覚えていなければならない。本研究では、そのような事前の取り決めなしに、自然に現れる非言語行動を理解する方法を検討した。人にものを頼もうとする場合、まず、その人の方を見る。そして、人を呼ぶという意識的動作を行うので、程度の差はあるが、手を下がった状態から上に挙げる。手の状態は、ものを使用したりする場合のように閉じられたりすることなく、開き気味で、手のひらは相手の方に向く。これが観察の結果分かった一般に人を呼ぶ場合の行動パターンである。そこで、このような行動を認識する方法を開発した。深層学習の利用により身体の各部の姿勢が高精度で求められるようになってきている。ここでは、米国カーネギーメロン大学で開発された OpenPose を用いた。OpenPose では身体全体の姿勢に加え、手の部分を拡大して見ることにより、手の指の姿勢も求められる。そこで、はじめは身体全体の姿勢の認識結果から、頭部の向きにより、ロボットの方を見ている人を見つけ、次に手を挙げているかを判断する。手を挙げていれば、手の部分の詳細を見て、手の姿勢が先に述べたようになっていいるかを認識する。図2に認識の例を示す。以上により、ロボットは呼ばれているかを認識するが、ある一時点では身体が先に述べたような状態になり、呼ぶ動作と認識される場合もある。しかし、実際に呼んでいない場合には、そのような状態が続くことはない。そこで、ロボットは、呼ばれていると認識したら、その相手の方に向かいながら、認識を続ける。その間に呼ぶ動作との認識結果が継続した場合に、本当に呼ばれていると判断して、相手のところまで行く。



図2 ロボットを呼ぶ非言語行動の認識

### (3)ロボットシステムの開発と実験

上の2つの成果を統合して実装したロボットシステムを開発した。図3にロボットを示す。ハードウェアとしては小型の移動ロボット台車(i-Cartmini, T-frogプロジェクト)に小型ヒューマノイド(NAO, ソフトバンクロボティクス)を搭載したものである。このロボットでは実際に何らかの作業を依頼されても実行できないので、物体の認識に関しては多くの物体を置いた模擬環境を実験室に作り、そこで実験した。そして、実際の高齢者介護施設で、「声で呼ぶ以外の方法でこのロボットを呼んでください」と指示をして、ロボットが呼んだ人を認識して、そこに行けるかの実験を行った。

ロボットは指示された物体の自動認識を試み、認識できない場合は対話物体認識に入る。自動物体認識には深層学習に基づく物体検出法である SSD を用いた。深層学習ではネットなどから収集した典型的な見え方の物体の画像でおもに学習を行っている。したがって、場合によってはロボットから見た方向では物体を確実に認識できないことがある。そういう場合は、ロ



ロボットは移動を行い他の方向から見て、物体の認識の確信度を高めるようにした。それでも認識できない場合は(1)に述べたような対話物体認識を行う。図4は実験の様子である。ロボットは移動しながら指示された物体を認識しようとしている。指示された物体が他の物体に一部隠されている場合など、様々な条件で実験を行い、最終的には対話を通じて指示された物体が認識できることを確認した。

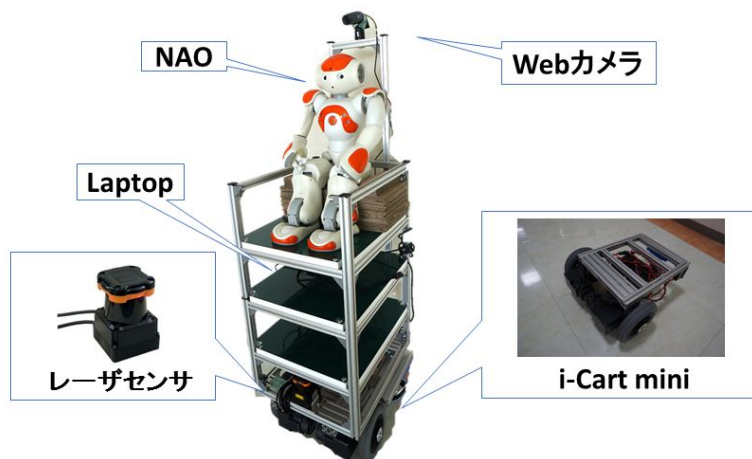


図3 実験用ロボットシステム

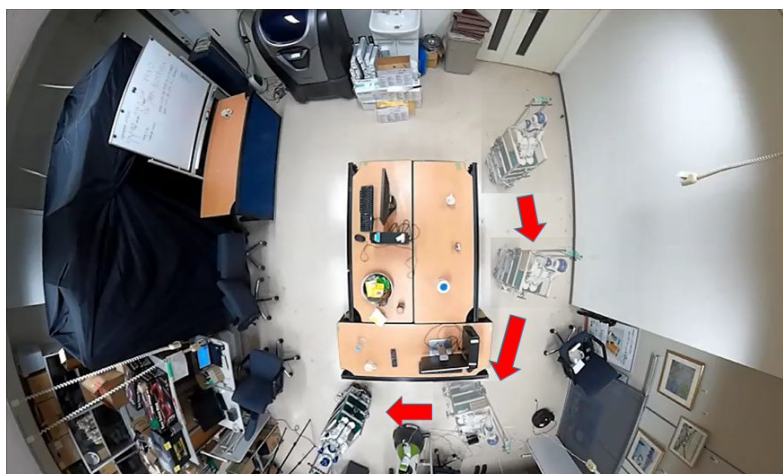


図4 実験室での指示物体の認識実験

非言語行動の依頼の開始部分については、実際の介護施設で実験を行った。高齢者の方には、声で呼ぶ以外の方法で普通に人を呼ぶときにするようにして呼んでくださいとお願いした。定量的な評価ができるところまでは行かなかったが、図5に示すように、人によって手の挙げ方や手の姿勢は異なるが、ロボットはそれらの呼び出しの動作を認識することができた。



図5 高齢者介護施設での実験：ロボットを呼ぶ非言語行動（ジェスチャ）の認識

介護ロボットなどのサービスロボットはだれでも簡単に使えるようにする必要がある。本課題はそのようなロボットの実現を目指しての研究である。深層学習の進展により物体認識の性能は飛躍的に向上している。しかし、まだ指示した物体を認識できない場合がある。そのような場合、人間は相手に分かってもらおうと何らかの情報を与える。本研究は、どのような情報をどのように与えるかなど事前に取り決めをしておかなくても、人間同士がふつうに用いる言語表現でロボットに指示をすれば、ロボットがそれを理解して物体を認識できるようにする技術を実現したものである。また、ロボットを非言語行動で呼ぶ（手招きで呼ぶ）ような場合にも、同様にどのような呼び方をするか事前に取り決めをしておかなくても、自然に行う非言語行動を認識できるようにしたものである。

使いやすいロボットの実現を目指しての人間とロボットのインタラクションの研究は活発に行われているが、本研究は社会学や哲学の研究者と共同して、人間が自然な言語・非言語行動でロボットに指示を与えられる方法を検討した点に独自性がある。本研究の成果は、今後のサービスロボットの開発において重要な知見を与えるものである。

#### <引用文献>

- G. Hidalgo, Z. Cao, T. Simon, S.-E. Wei, H. Joo, and Y. Sheikh, OpenPose: Real-time Multi-person Keypoint Detection Library for Body, Face, Hands, and Foot Estimation.  
<https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose>  
W. Liu, D. Anguelov, D. Erhan, C. Szegedy, S. Reedea, C.Y. Fu, and A.C. Berg, SSD: Single Shot MultiBox Detector, European Conference on Computer Vision (ECCV2016), 2016.

#### 5 . 主な発表論文等

##### [雑誌論文](計 10 件)

- M. G. Rashed, D. Das, Y. Kobayashi, and Y. Kuno, A Study on Proactive Methods for Initiating Interaction with Human by Social Robots, Asian Journal of Convergence in Technology, vol.4, issue 2, pp.1-10, 2018 ( 査読有 )  
DOI: <https://doi.org/10.33130/asian%20journals.v4iII.587>  
<http://www.asianssr.org/index.php/ajct/article/view/587>  
M. A. Mannan, A. Lam, Y. Kobayashi, and Y. Kuno, Material Information Acquisition for Interactive Object Recognition by Service Robots, IIEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing, vol.4, no.1, pp.20-31, 2016 ( 査読有 )  
<https://ci.nii.ac.jp/naid/40020920587>  
K. Yamazaki, A. Yamazaki, K. Ikeda, C. Liue, M. Fukushima, Y. Kobayashi, and Y. Kuno, "I'll Be There Next": A Multiplex Care Robot System that Conveys Service Order Using Gaze Gestures, ACM Transaction on Interactive Intelligent Systems, vol. 5, issue 4, article no. 21, pp.1-21, 2016 ( 査読有 )  
DOI:10.1145/2844542  
D. Das, M. G. Rashed, Y. Kobayashi, and Y. Kuno, Supporting Human-Robot Interaction Based on the Level of Visual Focus of Attention, IEEE Transactions on Human-Machine Systems, vol.45, no.6, pp.664-675, 2015 ( 査読有 )  
DOI:10.1109/THMS.2015.2445856  
L. Cao, A. Lam, Y. Kobayashi, Y. Kuno, and D. Kachi, Understanding Spatial Knowledge: An Ontology-Based Representation for Object Identification, IIEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing, vol.3, no.2, pp.150-163, 2015 ( 査読有 )  
<http://id.nii.ac.jp/1586/00013802/>

##### [学会発表](計 53 件)

- A.S. Phyo, H. Fukuda, A. Lam, Y. Kobayashi, and Y. Kuno, A Human-Robot Interaction System Based on Calling Hand Gestures, International Conference on Intelligent Computing (ICIC2019), 2019.  
L. Cao and Y. Kuno, Understanding Spatial Knowledge in Natural Language, IROS 2018 Workshop on Language and Robotics, 2018.  
A.S. Phyo, H. Fukuda, A. Lam, Y. Kobayashi, and Y. Kuno, Natural Calling Gesture Recognition in Crowded Environments, International Conference on Intelligent Computing (ICIC2018), 2018.  
L. Cao, H. Fukuda, A. Lam, and Y. Kuno, Communicating Spatial Knowledge in Japanese for Interaction with Autonomous Robots, IEEE International Symposium on Robot and Interactive Human Communication (RO-MAN2017), 2017.  
H. Fukuda, Y. Kobayashi, Y. Kuno, A. Yamazaki, K. Ikeda, and K. Yamazaki, Analysis

of Multi-party Human Interaction towards a Robot Mediator, International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN2016), 2016.

D. Hosohara, H. Fukuda, Y. Kobayashi, Y. Kuno, Object Recognition Using Size Information Based on Pre-trained Convolutional Neural Network, Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2016), 2016.

M. G. Rashed, T. Kikugawa, R. Suzuki, Y. Kobayashi, and Y. Kuno, Network Guide Robot System Proactively Initialing Interaction with Humans Based on Their Local and Global Behaviors, International Conference on Intelligent Computing (ICIC2015), 2015.

H. Fukuda, S. Mori, Y. Kobayashi, Y. Kuno, and D. Kachi, Object Recognition Based on Human Description Ontology for Service Robots, Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON2014), 2014.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.cv.ics.saitama-u.ac.jp/>

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：小林 貴訓

ローマ字氏名：(KOBAYASHI, Yoshinori)

所属研究機関名：埼玉大学

部局名：大学院理工学研究科

職名：准教授

研究者番号(8桁)：20466692

研究分担者氏名：福田 悠人

ローマ字氏名：(FUKUDA, Hisato)

所属研究機関名：埼玉大学

部局名：大学院理工学研究科

職名：助教

研究者番号(8桁)：70782291

研究分担者氏名：山崎 敬一

ローマ字氏名：(YAMAZAKI, Keiichi)

所属研究機関名：埼玉大学

部局名：大学院人文社会科学研究科

職名：教授

研究者番号(8桁)：80191261

研究分担者氏名：加地 大介

ローマ字氏名：(KACHI, Daisuke)

所属研究機関名：埼玉大学

部局名：大学院人文社会科学研究科

職名：教授

研究者番号(8桁)：50251145

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、研究者個人に帰属されます。