

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 27 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24500277

研究課題名(和文) 部分観測マルコフ決定過程理論に基づく発達尺度の言語関連タスクの包括的実現

研究課題名(英文) Comprehensive Accomplishment of Multiple Language-Related Tasks of Developmental Scales Based on the Theory of Partially Observed Markov Decision Processes

研究代表者

伊藤 秀昭 (Itoh, Hideaki)

佐賀大学・工学(系)研究科(研究院)・講師

研究者番号：20345375

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、発達尺度のタスクのうちで言語に関連するものを多数行うことのできるエージェントを開発することを目的とし、「円がいくつが描かれた絵を見て円の個数を答える(3歳9ヶ月レベル)」などを行うロボットを開発することができた。さらに、各タスクの遂行に必要な情報処理を機能要素モジュールの組み合わせによって実現し、それらのモジュールの組み合わせ方はエージェント自身が自動的に最適化するようにしたこと、多くのタスクを行うエージェントを効率的に開発できるようにした。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study was to develop an agent that can perform multiple language-related tasks of developmental scales. We have developed a robot that performs multiple tasks including "The subject should answer the number of circles in a given picture (which is a task that can be performed by 3-year-9-month-old children)." Furthermore, we implemented the information processing function necessary for the accomplishment of each task by a combination of functional element modules, and let the agent itself optimize how to combine those modules for a given task. This enabled an efficient development of the agent that can perform multiple tasks.

研究分野：人工知能

キーワード：POMDP 確率的最適制御 自然言語処理 発達尺度 多機能エージェント 確率モデル 適応制御 階層制御

1. 研究開始当初の背景

発達尺度とは、心理学や医学分野で用いられている、ヒトの発達段階を判定するための尺度である。本研究の研究代表者らは、従来より、発達尺度における多数のタスクをできるだけヒトの乳幼児と同じ順番で達成することが、ヒトのように様々な知的活動を行うことのできる多機能なエージェントの実現への一つの有効な方策であると考え、その方針に従って研究を進めてきた。具体的には、新版 K 式発達検査という発達尺度を利用し、両眼や首を可動部として持つロボットを製作して、「眼前で動く物体を両眼で追視する(生後1ヶ月レベル)」、「首の運動を伴って追視する(3ヶ月レベル)」、「両眼立体視(7ヶ月レベル)」などを実現してきた。また、音声認識エンジン(Julius)を用いたシステムを製作し、「言葉を復唱する(1歳6ヶ月レベル)」、「言われた言葉に相当する3次元図形を描画する(2歳レベル)」なども実現していた。しかし、言語に関する多数の重要なタスクが未着手であった。

2. 研究の目的

そこで本研究では、発達尺度のタスクのうちで言語に関連するものを多数行うことのできるエージェントを開発することを目的とした。その際、部分観測マルコフ決定過程(POMDP)理論を用いることによって、どのタスクを行うべきかの指示をエージェントが理解できるようにするとともに、効率的な開発のため、各タスクの遂行においてどのような情報処理を行えばよいかを、エージェント自身が自動的に最適化できるようにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) ハードウェアとしては、研究代表者らが以前から用いてきた小型のヒューマノイドロボットを用いた。このロボットに、発達尺度の言語関連タスク、具体的には「言葉を聞いて対応する絵を指さす(1歳7ヶ月レベル)」、「絵を見てその名称を答える(2歳0ヶ月レベル)」、「2本の棒を見てどちらが長いかを答える(2歳9ヶ月レベル)」、「円がいくつか描かれた絵を見て円の個数を答える(3歳9ヶ月レベル)」などを、できるだけ多く行わせることを目指した。

(2) (1)を行う際に、それぞれのタスクを別々に実現するのではなく、できるだけ多くのタスクで共通して用いることのできる機能要素モジュールを用意し、それらを組み合わせることによって各タスクの遂行を実現するようにした。さらに、それらのモジュールの組み合わせはエージェント自身が必要に応じて自動的に行うようにすることで、多くのタスクを効率的に実現できるようにすることを目指した。

4. 研究成果

(1) 以下のように、各種のタスクを実現することができた。

「言葉を聞いて対応する絵を指さす(1歳7ヶ月レベル)」は、Julius による音声認識モジュール、OpenCV による画像認識モジュール、逆運動学による指さし行動の動作計画モジュール、モータ制御モジュールなどからなるシステムにより実現した(図1)。

「絵を見てその名称を答える(2歳0ヶ月レベル)」は、指示を理解するための音声認識モジュールや、OpenCV による画像認識モジュール、音声合成ソフトによる発話モジュールなどからなるシステムにより実現した。

「2本の棒を見てどちらが長いかを答える(2歳9ヶ月レベル)」は、深度センサを用いて対象物体の3次元形状を測定することで実現した。このようにすることで、見えではなく本来の長さの長い方を答えられるようにした(図2)。

「円がいくつか描かれた絵を見て円の個数を答える(3歳9ヶ月レベル)」は、指示を理解するための音声認識モジュールや、OpenCV により一つの円を認識する画像認識モジュール、認識した円を一つずつ消去してゆく画像加工モジュールなどからなるシステムにより実現した。

また、物体の名称を聞いてその形状を推定するなどの、上記以外のタスクについても研究を進めることができた。

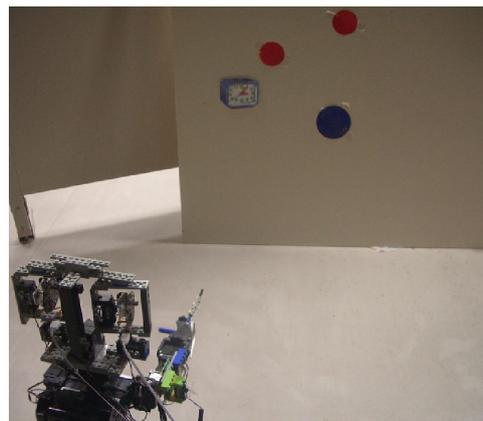


図1 指さしタスク遂行中のロボット

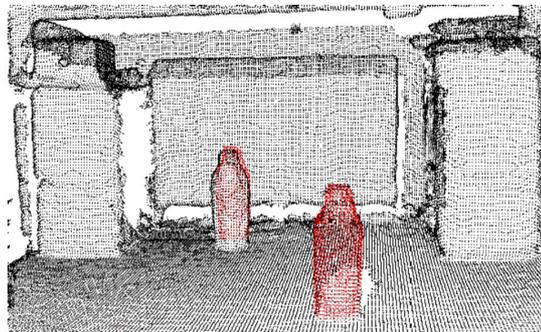


図2 対象物体の大きさの計測

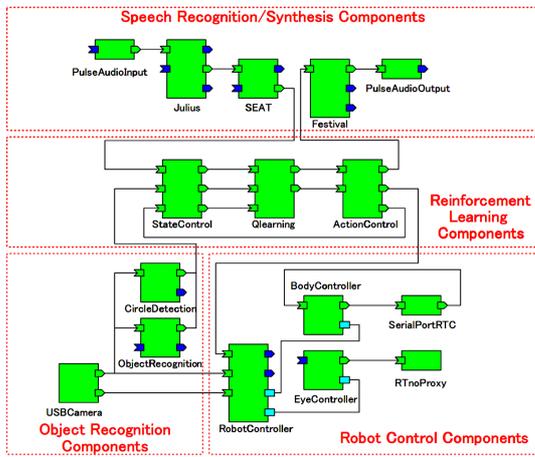


図3 開発したモジュール群

(2) モジュール化とその組み合わせについて以下を行った。

各モジュールは、OpenRTM-aist 及び ROS というミドルウェアを用いて作成した。そして、各タスクに対し、その実現に必要なモジュールの組合せを、モデル有り型強化学習を用いて自動的に最適化することに成功した。図3に、OpenRTM-aist を用いて開発したモジュール群を示す。

さらに、モデル有り型強化学習に汎化能力を持たせ、最適化に要する時間を短縮させることにも成功した。具体的には、強化学習で用いる行動価値関数 $Q(s, a)$ において状態 s がベクトルで表わされる場合に、その次元を削減した状態ベクトル s_1 と s_2 を用いて、

$$Q(s, a) \sim Q(s_1, a) + Q(s_2, a)$$

という形で行動価値関数を近似表現した。そして、学習の初期段階ではこの近似表現を用い、学習が進むに連れて本来の行動価値関数を用いるようにした。実験結果の例を図4に示す。図4において、緑は汎化能力を持たない通常の強化学習による学習曲線であり、赤と青が提案した手法による学習曲線である。提案手法の方が少ない試行回数で学習できていることが分かる。

上記の ② では、最適化のために必要な各モジュールの動作モデルを設計者が手で与える必要があり、非常に手間がかかっていた。そこで、エージェントが自らの経験に基づいて各モジュールの動作モデルを自動的に学習できるようにした。その際、帰納論理プログラミングを用いて汎化学習を可能にしたことで、タスクの数が増えても少数の経験からモデルを学習できるようにした。例えばタスクの数が12個の場合に、100試行程度で学習可能であること(図5)などを示した。図5において、緑は帰納論理プログラミングを用いず単純に経験を蓄積したデータベースを用いてモジュールの動作を予測させた場合の学習曲線であり、青は帰納論理プログラミングを用いた場合の学習曲線である。横軸はモジュールの使用経験回数、縦軸はモジュールの動作結果の予測の正解率(予測値と

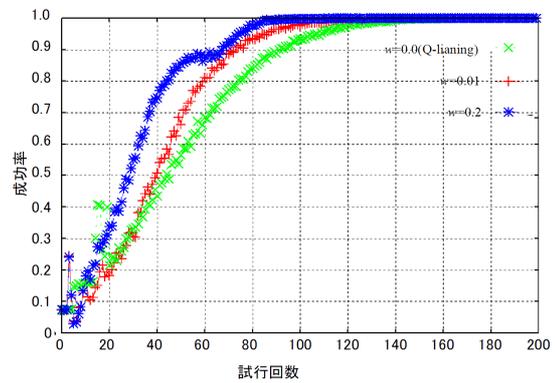


図4 汎化強化学習

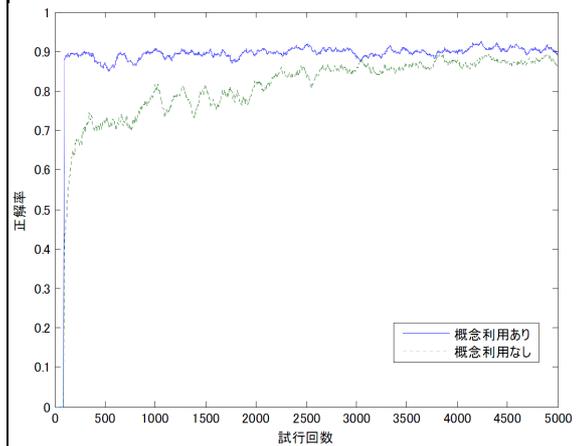


図5 環境のモデル学習

実際の値とが一致した割合)である。なお、確率的な動作をするモジュールが存在したため、学習が進んでも正解率は1.0にはならない。図5から、帰納論理プログラミングを用いることによって、非常に少ない経験だけで高い正解率に到達できていることが分かる。

強化学習ではなく階層的な確率モデルを用いた最適化手法を用いるアプローチについても研究を進めた。特に、階層的な確率モデルの学習に関して論文にまとめ、掲載することができた。

以上のように、前述の研究目的に沿って多くの成果を得ることができた。今後の課題として、さらに多くのタスクを実現してゆくことが重要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

Hideaki Itoh, Hisao Fukumoto, Hiroshi Wakuya, and Tatsuya Furukawa. Bottom-Up Learning of Hierarchical Models in a Class of Deterministic

POMDP Environments. International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, 査読有, vol. 25, issue 3, pp. 597-615, 2015.
DOI: 10.1515/amcs-2015-0044

〔学会発表〕(計17件)

津留祐樹, 伊藤秀昭, 福本尚生, 和久屋寛. 帰納論理プログラミングを用いた複数の発達検査タスクのモデル学習. 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 114, no. 437, pp. 33-37, 九州工業大学(福岡県北九州市), 2015年1月29日

Yoshitaka Sakai, Toru Kadoya, Hideaki Itoh, Hisao Fukumoto, Hiroshi Wakuya, and Tatsuya Furukawa. An Improved Resizing Method for Accurate Movement Imitation in a Humanoid Robot. Proceedings of the 20th International Symposium on Artificial Life and Robotics, pp. 168-171, B-Con Plaza (Beppu, Oita), 2015年1月23日

堺義隆, 伊藤秀昭, 福本尚生, 和久屋寛, 古川達也. ROSを用いた移動型多機能ロボットの作成に向けて. 第22回電子情報通信学会九州支部学生会講演会, CD-ROM 1 page, 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市), 2014年9月20日

中島麻貴, 伊藤秀昭, 福本尚生, 和久屋寛, 古川達也. ROSを用いた物体運動のシミュレーション. 第22回電子情報通信学会九州支部学生会講演会, CD-ROM 1 page, 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市), 2014年9月20日

森下峻輔, 伊藤秀昭, 福本尚生, 和久屋寛, 古川達也. ROSとRaspberry Piを用いた分散型3次元物体認識システムの開発. 第67回電気関係学会九州支部連合大会, CD-ROM 1 page, 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市), 2014年9月19日

津留祐樹, 伊藤秀昭, 福本尚生, 和久屋寛, 古川達也. 汎化能力を持つ強化学習を用いた多機能ロボットの開発. 第24回ソフトサイエンス・ワークショップ講演論文集, pp. 67-68, 久留米エスプリホテル(福岡県久留米市), 2014年3月8日

森下峻輔, 伊藤秀昭, 福本尚生, 和久屋寛, 古川達也. Kinfuを用いた3次元物体認識システムの開発. 第24回ソフトサイエンス・ワークショップ講演論文集, pp. 91-92, 久留米エスプリホテル(福岡県久留米市), 2014年3月8日

Toru Kadoya, Hideaki Itoh, Hisao Fukumoto, Hiroshi Wakuya, and Tatsuya Furukawa. Movement Imitation in a Humanoid Robot with Approximate Inference Control. Proceedings of the 19th International Symposium on Artificial Life and Robotics, pp. 260-263, B-Con Plaza (Beppu, Oita),

2014年1月23日

Shunsuke Morishita, Hideaki Itoh, Hisao Fukumoto, Hiroshi Wakuya, and Tatsuya Furukawa. Developing a 3D Object Recognition System Using Kinfu. Proceedings of the SICE Annual Conference 2013, pp. 2495-2497, Nagoya University (Nagoya, Aichi), 2013年9月17日

Yuki Tsuru, Hideaki Itoh, Hisao Fukumoto, Hiroshi Wakuya, and Tatsuya Furukawa. Developing a Robot That Performs Multiple Tasks of a Developmental Test Using OpenRTM-Aist and Reinforcement Learning. Proceedings of the SICE Annual Conference 2013, pp. 2477-2480, Nagoya University (Nagoya, Aichi), 2013年9月15日

中畑敦夫, 伊藤秀昭, 福本尚生, 和久屋寛, 古川達也. WebGLを用いた自然言語による3次元コンピュータグラフィックス作成システムの開発. 映像情報メディア学会冬季大会講演予稿集, CD-ROM 1 page, 東京理科大学(東京都新宿区), 2012年12月19日

城戸将徳, 伊藤秀昭, 福本尚生, 和久屋寛, 古川達也. 発達尺度を利用したヒトレベル人工知能の段階的実現: 指差し行動タスクの達成へ向けて. IEEE IM-09 Japan Chapter 主催 2012年度第2回学生研究発表会予稿集, p. 29, 佐賀大学(佐賀県佐賀市), 2012年11月29日

津留祐樹, 伊藤秀昭, 福本尚生, 和久屋寛, 古川達也. OpenRTM-aistを用いた発達検査の絵指示タスク達成ロボットの開発. 第20回電子情報通信学会九州支部学生会講演会講演論文集, CD-ROM 1 page, 長崎大学(長崎県長崎市), 2012年9月26日

城戸将徳, 伊藤秀昭, 福本尚生, 和久屋寛, 古川達也. 発達尺度を利用したヒトレベル人工知能の段階的実現: 腕の運動誘発. 第26回人工知能学会全国大会, CD-ROM 2 pages, 山口県自治会館(山口県山口市), 2012年6月13日

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ

研究室の業績:

<http://www.ace.ec.saga-u.ac.jp/Work/>

自然言語処理研究班:

<http://www.ace.ec.saga-u.ac.jp/Resea>

rch/nlp.html
多機能ロボット研究班：
<http://www.ace.ec.saga-u.ac.jp/Research/robots.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 秀昭 (ITOH, Hideaki)
佐賀大学・大学院工学系研究科・講師
研究者番号：20345375

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし