

平成21年12月18日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19700199

研究課題名（和文） 人との対話に基づくロボットの逐次的行動ネットワーク構成法

研究課題名（英文） On-line Action Network Generation Based on Interaction with Human

研究代表者 Neo Ee Sian

独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門 研究員

研究者番号：20443210

研究成果の概要：

人間と対話しながら行動を生成するために、既知環境や物体を定義する物体辞書、および環境とインタラクションを行う知覚行為、身体行為、発話行為、問い合わせ行為を記憶するメカニズムにもとづいた行動決定システムを構築し、作業目的が与えられた後、ロボットの状態および知覚行為による環境認識結果に応じて、作業計画を行い、行動実行時に必要に応じて人間と対話しながら行動を生成するシステムを実現し、ヒューマノイドロボットに実装した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	0	1,800,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,600,000	240,000	2,840,000

研究分野：

科研費の分科・細目：

キーワード：(1)知能ロボット (2)行動 (3)インタラクティブ教示 (4)行動計画 (5)ヒューマノイドロボット

1. 研究開始当初の背景

従来、ロボットの行動を決定するために、記号やオートマトンを用いて行動決定ルールをネットワークとして表現する手法が提案されている。あらかじめ人間が記号を記述し、これを操作するルールを学習によって獲得することにより、未知な環境にも対応可能な記号操作システムの設計に成功した例も示されている。しかし、記述されたネットワークのノードやモジュールの組み合わせによってロボットの実現可能な行動のレパートリーが限定されるため、現実には起こりうる

全ての問題に対処することが難しく、記号と実世界との接地問題など、多くの課題がまだ残されている[1][2]。

人は、作業を遂行するため、自分と環境の状態を絶えず認知し、適切な行動を選択し実行する。自分では解決できない状況（デッドロック）に陥った時にも、自ら他人に手助けを求め作業を達成する。また、達成にいたった過程を記憶し次回に生かす。このような人間に類似した行動選択・記憶・デッドロックを打破するメカニズムを実現することが、高度な自律機能を持ったロボットシステムを

実現するための鍵と考える。特に、ロボットシステムがデッドロックに陥った時に、自ら人に手助けを求め、それに応じて人が積極的に介入し、デッドロックを打破すると共に、その際に行われた手段をロボットシステム自体が記憶し再利用する機能を実現することが重要であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では「人の生活空間内で、多様な作業が自律的に実行されるロボットシステムを実現する」ことを目的とし、人間に類似した行動選択・記憶・デッドロックを打破するメカニズムをロボットシステムに実装する方式により「人との対話に基づくロボットの逐次的行動ネットワーク構成法」を確立することを目標とする。そして、確立したメカニズムを、これまでに確立してきた実時間全身動作教示システム[3][4]に追加し、ロボットシステム自体が作業経験を蓄え、操作回数が増えるにつれ、より自律なシステムを構築することを目指す。ロボットシステム自体では次なる行動を計画できない「設計者の予期せぬデッドロック状況」にロボットシステムが遭遇した場合にも、ロボットシステム自らが「どうすればいいのか」を指示者に仰ぎ、指示者のインタラクティブなロボット操作により、デッドロック状況を打破できるようにする。さらに、その際の指示者の操作を再利用できる形で記憶することで自律機能を向上することができるロボットシステムを実現する。このために、以下の二項目について研究を行った：

(1) 作業の逐次記憶方式：

作業遂行時の選択行動、注目点および、ロボットの身体情報、行動情報、感覚情報を一時的に格納し、これらの情報の評価に基づき必要な情報をシステムの作業データベースにシステムが自ら再利用できる形で記憶する方式

(2) デッドロック打破のためメカニズム：

(1)で確立する手法を利用し、構造化された作業データベース空間内で保持された情報を必要に応じて効率的に検索、新たに獲得された環境情報と関連付け、新たな状況と関連付けできないときのエラー検出、人の介入を求めるメカニズム

人間型ロボットに従来の視覚認識機能や音声認識・合成機能を追加し、その自律性を向上させる研究が活発に行われている。しかし、現状のロボットの環境認識・行動判断能力では、事前に環境や物体のモデルを準備することができない実環境下で、直面する状況に則して、適切な行動を選択し、それを実行する機能を有するまでには至っておらず、実

現できる作業は非常に簡単な作業に限定されている。

ロボットの教示法の研究の多くは人間が直接マニピュレーターを操作して、関節や効果器の軌道などを直接教示する手法[5][6]や、ロボットの視覚能力を使用して人間の実演を再現させる教示法[7][8]など、ロボットの状態を外部観察する“外”からの教示する方式である、一方本研究はこれまで構築してきた認識結果を含めた実行する行動をオンラインで確認、修正、教示できる教示システムを使用するロボットの内部状態も観察できる“中”から教示する方式の確立を目指すものであり、より効率的にロボットを教示できると考えられる。

さらに、従来の多くの教示法は教えるのみの“単方向”教示手法であり、本研究が目指している、ロボットが自ら教示を求める“双方向”のインタラクティブな教示法については、十分な研究開発が行われていない。これまで確立してきた実時間全身動作教示システムに、本研究で確立を目指す「作業の逐次記憶方式」「デッドロック打破のためメカニズム」を追加することにより、常に変化するダイナミックな日常生活の環境で、予想できない状況に直面したときでも、自ら人や別のシステムの介入を求めタスクを遂行し、そこで得られた“経験”を蓄え、自律機能を向上させるロボットシステムの実現が可能となる。これにより、従来より一歩進んだロボットシステムの実現が期待できる。本研究で得た知見は、ダイナミックな人の生活空間に対応できる、自由に移動し、多様な作業機能を持ったサービスロボットシステムの実現に貢献する。

3. 研究の方法

人間の生活環境の中で、人間型ロボットの全身行動実時間操作手法(図1)および視覚認識結果に基づいた実時間オンライン動作生成法を確立し、ロボットの認識結果、実行する行動をオンラインで確認、修正、教示できる人間型ロボットの実時間全身動作教示システムを使用して、実際にロボットに作業をさせ、作業遂行時の選択行動、注目点および、ロボットの身体情報、行動情報、感覚情報を一時的に格納し、これらの情報の評価に基づき必要な情報をシステムの作業データベースにシステムが自ら再利用できる形で記憶する方式を明らかにする。具体的には、以下の二つの項目について研究を進めた。

行動記憶メカニズム：

全身動作時の操作目的、目標物体の位置姿勢、動作の拘束条件(ロボットの立ち位置、重心拘束領域、注目点、関節状態)を記憶する短期記憶メカニズムを構築

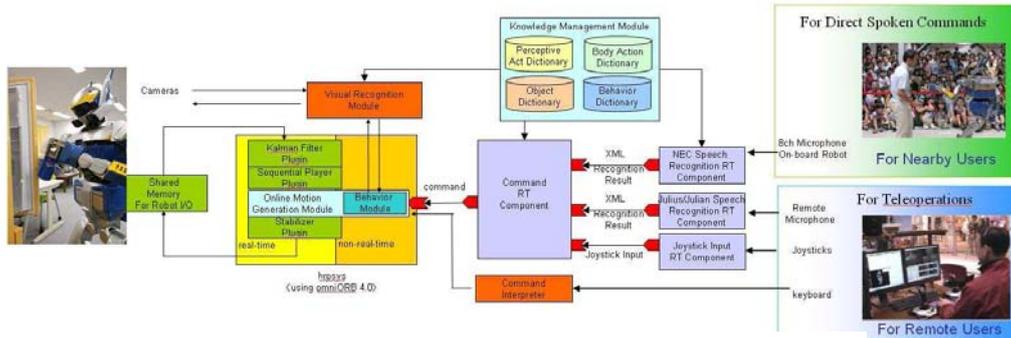
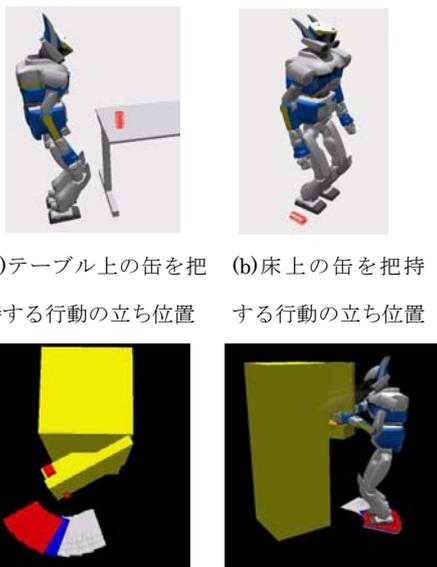


図1 人間型ロボットの全身行動実時間操作システム

し、記憶すべき情報を評価する手法を検討した上で、情報の再利用が可能な行動データベースとしての長期記憶メカニズム (図2)

作業記憶メカニズム：

作業を行うときには、物体の場所、作業を実行するための行動手順を記憶する短期記憶メカニズムを構築し、記憶すべき情報を評価する手法を検討した上で、情報の再利用が可能な作業データベースとしての長期記憶メカニズム



(a)テーブル上の缶を把持する行動の立ち位置 (b)床上の缶を把持する行動の立ち位置

(c)冷蔵庫内の物体に対する行動の立ち領域 (d)記憶した立ち領域内で缶を把持実行した例

図2 行動記憶の例

これらの記憶メカニズムは人間型ロボット HRP-2 の本体に実装した全身動作実時間動作生成制御システムに記憶モジュールとして実装し、前記の記憶メカニズムを使用して、人間から作業目的が与えられた後、自律に作業を遂行させることを実機にて行なう。作業遂行時に、構造化された記憶データベース空間内で保持された情報を必要に応じて効率

的に検索、新たに獲得された環境情報と関連付け、新たな状況と関連付けできないときのエラー検出、人の介入を求めるメカニズムを構築するために、具体的に、以下の二つの項目について研究を遂行した。

全身動作の逐次教示法：

ロボットの身体情報、行動情報、感覚情報に基づく動作実行エラー検出メカニズムを構築するとともに、長期記憶メカニズムで記述した行動では実現できない場合に教示を求めるフレームワークを明らかにし、新たに教示された動作を長期記憶に格納する、逐次行動ネットワーク構築メカニズム

作業時のエラー検出、教示を求めるメカニズム：

作業データベースで記述された物体の場所や作業手順を探索領域として行動計画をしたときに、作業目的が実現できない場合に、教示を求め、逐次的に教示された情報を新たな探索領域として拡大できるメカニズム

4. 研究成果

人間と対話をしながら行動を逐次的に生成するシステムを実現するために、人間の音声指示に用いられる語彙をロボットシステムで定義される概念とリンクさせ、またロボットの作業計画に用いられるシンボルと物理世界の概念と対応させる必要がある。

既知環境や物体を定義するための物体辞書のほかに、作業を遂行するためのもっとも基本的な動作単位を行為と定義し、多種多様な作業に共通に必要とされる行為を記述するフレームワークを構築した。環境とのインタラクションの中で行う視覚・聴覚・触覚によるセンシング・プロセスを知覚行為、身体を用いて環境とインタラクションをするプロセスを身体行為、発話を伴うプロセスをスピーチ行為、また物体や行為の情報をロボットの記憶 (データベース) から取得する

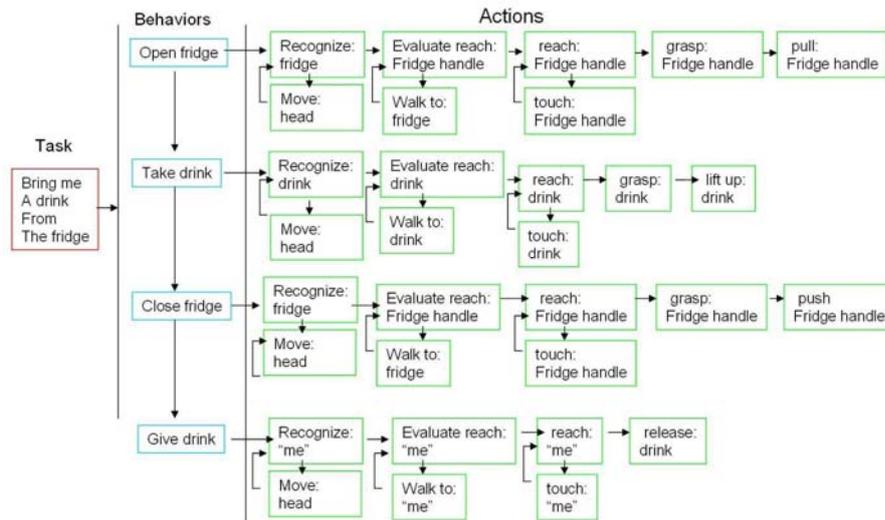


図3 行動データベース内の行為を用いて計画した作業例

プロセスを問い合わせ行為として分類し、記述された行為を格納した行動データベースを用いて、作業を計画するシステムを実現した(図3)。これにより、人との対話に基づくロボットの逐次的行動ネットワーク生成の実現に向けて、多種多様な作業に共通に必要なとされる一般的な行動の記述法の評価を行うことが可能になった。

構築した記憶メカニズムを使用して、作業目的が与えられた後、ロボットの状態および音源方向同定を含めたセンシング行為による環境認識結果に応じて、作業データベースに記述された情報に基づいた作業計画を行い、行動実行時には、必要に応じて人間に確認を取るスピーチ行為の発行を含めた人間との対話による作業遂行するシステムを実現した。ヒューマノイドロボット HRP-2 を用いて、提案システムの有効性を検証するための実験を行った。提案したフレームワークを用いて、視覚で認識し、オンラインで全身行動を生成することにより、音声指示された物体を運ぶ作業や、音声指示による陳列作業などを実現してきた。ロボットのオンライン身体情報およびセンシング行為による認識結果に基づいて、「もっと右」や「もうちょっと左」といったインタラクティブな動作指示や、音源方向情報にもとづいて、予期せぬ方向から呼びかけられた場合にも、そちらの方に首を巡らしてスピーチ行為で応答するなど、人間との対話による逐次的な行動生成を実現した(図4)。



図4 対話しながら実行する行動例

[参考文献]

- [1] Artificial Intelligence: A Modern Approach. S. Russell and P. Norvig. Prentice hall, 2003.
- [2] ロボットインテリジェンス. 浅田稔, 国吉康夫. 岩波書店, 2006.
- [3] A Behavior Level Operation System for Humanoid Robots. E. S. Neo, K. Maruyama, T. Sakaguchi, Y. Kawai, and K. Yokoi. Proc. IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, 2006.
- [4] A Unified On-line Operation Interface for Humanoid Robots in A Partially-Unknown Environment. E. S. Neo, O. Stasse, Y. Kawai, T. Sakaguchi and K. Yokoi. Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automations, pp.4437-4439, 2006.
- [5] テレロボットにおけるワールドモデル管理のための操縦行動の理解機能. 平井成興, 佐藤知正. 日本ロボット学会誌, vol.7(6), pp.714-724, 1989.
- [6] Superpositioning of Behaviors Learned through Teleoperation, C.L. Campbell, R.A.II. Peters, R.E. Bodenheimer, W.J. Bluthmann, E. Huber and R.O. Ambrose. IEEE Transactions on Robotics, vol.22(1), pp.79- 91, 2006.
- [7] Learning by Watching: Extracting Reusable Task Knowledge from Visual Observation of Human Performance. Y. Kuniyoshi, M. Inaba and H. Inoue. IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol.10(6), pp.799-822, 1994.
- [8] Self-organization of Distributedly Represented Multiple Behavior Schemata in a Mirror System: Reviews of Robot Experiments using RNNPB. J. Tani, M. Ito and Y. Sugita. Neural Networks, vol.17(8-9), pp.1273-1289, 2004.

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 2 件)

(1) Ee Sian Neo, Takeshi Sakaguchi, Kazuhito Yokoi, A Humanoid Robot that Listens, Speaks, Sees and Manipulates in Human Environments, Proceedings of IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems 2008, 査読有, 2008, p419-425.

(2) Ee Sian Neo, Takeshi Sakaguchi, Kazuhito Yokoi, A Natural Language Instruction System for Humanoid Robots Integrating Situated Speech Recognition, Visual Recognition and On-line Whole-Body Motion Generation, Proceedings of the 2008 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 査読有, 2008, p1176-1182.

[学会発表] (計 3 件)

(1) Ee Sian Neo, A Humanoid Robot that Listens, Speaks, Sees and Manipulates in Human Environments, IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems 2008, 2008年8月22日, ソウル、韓国.

(2) Ee Sian Neo, A Natural Language Instruction System for Humanoid Robots Integrating Situated Speech Recognition, Visual Recognition and On-line Whole-Body Motion Generation, IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics 2008, 2008年7月4日, 西安、中国.

(3) Ee Sian Neo, A Natural Language Instruction System for Humanoid Robots Working in Human Environments, Robotics Science and Systems 2008, Workshop on Robot Manipulation: Intelligence in Human Environments, 2008年6月28日, チューリッヒ、スイス.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

Neo Ee Sian (EE SIAN NEO)

独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門 研究員

研究者番号：20443210