

確率的空間記憶モデルに基づく 人間ロボット間の協調的タスク遂行システム

Cooperative Task Achievement System between Humans and Robots based on Stochastic Memory Model of Environment

稲邑哲也*1*2*3

Tetsunari Inamura

園田朋之*3

Tomoyuki Sonoda

川路友博*3

Tomoyuki Sonoda

稲葉雅幸*3

Tomoyuki Sonoda

*1 国立情報学研究所

National Institute of Informatics

*2 総合研究大学院大学

The Graduate University for Advanced Studies

*3 東京大学大学院 情報理工学系研究科

Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

Design and acquisition method of environmental model are important issue for robots which act in real world such as daily life environment. Robots have to follow up changes of environment and re-construct the model because of the conditions in real world environment would be changed constantly. Also model for unobserved part would be needed and should be inferred when users instruct the robot using symbolic expressions. In this paper, we have focused on stochastic representation of environmental memory to realize smooth communication between humans and robots, and realtime memory management with ambiguities in real world. We also show that the representation is effective to construct cooperative task achievement system on intelligent robots.

1. はじめに

近年, ロボットは人間の日常生活空間の中に進出し, 人間と共に行動する機会が増えるにつれて多種多様な環境の中で人間の指示を理解することが求められるようになってきている. このような環境下ではロボットは目の前の状況のみからではなく, 過去に経験した記憶の中にもみ存在している情報を考慮したり, 全く見たことが無い未知の環境に対応して状況判断を行う必要がある. 特に, ロボット研究においては, 環境モデルを事前に与えることを前提としていない状況がほとんどであり, モデルを自分自身の経験からリアルタイムに構築し, 利用可能な表現形式でマネージメントして行く必要がある.

従来の研究では, SLAM(Simultaneous Localization And Mapping) と呼ばれる手法を用いて環境の地図を確率的な表現に基づいて構成する例が多かったが, レーザレンジファインダなどの距離計測の結果を用いた, 2 次元的な平面地図に終始することが多かった. しかしながらヒューマノイドのような 3 次元空間の中で活動するロボットにおける地図情報は, 2 次元では限界が生じる.

筆者らはこれらの問題に対するアプローチとして確率的内部表現を用いて状況に適応した対話行動を制御する仕組みを提案している [1]. 本稿では常に変わり続ける環境の中でロボットが状況と文脈を考慮して対話に基づいて人間の指示を理解することを目的とし, これらの内部表現のあり方と確率的に管理する手法とを提案する.

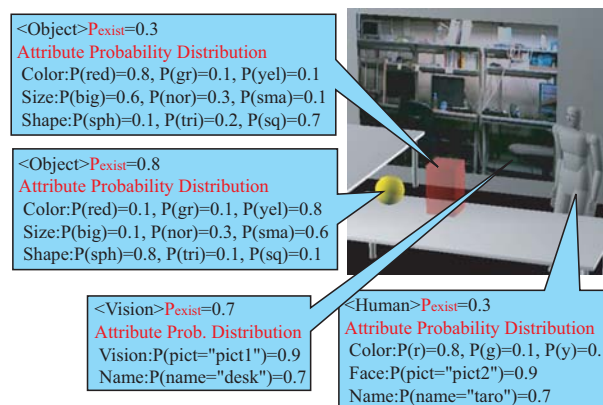


図 1: 存在確率とプロパティに関する確率分布による空間記憶モデルの一例

2. 確率的空間記憶モデル

2.1 環境と物体の空間記憶モデル

ロボットの行動制御のために行動の候補を絞り込むための空間的な確率分布表現を行う手法は, 今までも仮想環境の中のロボットシステムにおいて提案されている [2]. しかしながら環境に存在する物体を含めて, 確率的なモデリングを行うことが実世界で活動するロボットに求められる. そのような確率的空間記憶モデルの第一ステップとして, 本稿では人間の指示を元に行動する際に, ロボットが操作をしたり注視したりする対象となりうる物体に関する情報を蓄えておくシステムを提案する.

このような内部表現をロボットの記憶として扱う研究として [3] などが挙げられる. しかし実際に対話し, 環境の中で活動するロボットにとって, 対話の中に登場するシンボルで表現された対象物と実際に目の前に存在し動作の対象としなければな

連絡先: 稲邑哲也, 国立情報学研究所情報学プリンシプル研究系, 〒101-8430 千代田区一ツ橋2-1-2, Tel 03-4212-2518, Fax 03-3556-1916, inamura@nii.ac.jp

らないパターン情報の両方に適用可能であるような汎用的な内部表現を扱えることが重要である。そこで本研究では、記憶情報として、確率表現と3次元情報の組み合わせが重要であると考へ、記憶の持つべき情報は以下の3つであると定義する。

1. 存在確率
ロボットがその存在を記憶にとどめるべき確信度。行動制御時のために記憶を参照した際に物体が行動制御に与える影響の強さを数値化したパラメータ。
2. 物体のプロパティに関する確率分布
記憶が持つ属性に関してロボットが知っている値を確率変数とした確率分布。対話制御すなわち確率的推論に利用しやすい形式である。
3. 3次元空間情報
実際に行動の対象とする際に行動計画に利用できる計上の物理的情報。またロボット自身の体との位置や大きさを含む相対関係の情報も保持する。

物体、人間、視覚情報に関する存在確率とプロパティに関する確率分布、3次元空間情報の例を図1に示す。

2.2 記憶への状況反映

記憶モデルを構築するには、まず最初にロボットの目の前の状況を記憶に反映させる。ステレオカメラによって入力された画像情報から、色情報を元に領域分割を行い、それぞれの領域ごとに、形状情報、3次元距離情報などの情報を画像処理によって取得する。記憶としてこれらの視覚特徴情報を付加したオブジェクトを生成することによって状況を反映する記憶システムが実現される。また実際の実環境を対象とした画像処理では、左右の画像のマッチングミスによる距離情報の誤差などが生じやすいため、画像処理の内部段階で誤差が生じる可能性が高い場合には、処理結果に信頼性がないと判断し、物体の記憶の「確信度」を下げて登録することとする。このような作用により、誤認識の可能性を自ら把握し、注意深く観察するなどの行動制御を実現させる。

カメラ画像からモデルを構築している実験例を図2に示す。

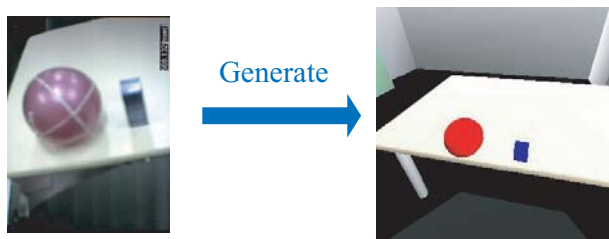


図2: 実画像情報からの物体モデル作成

2.3 記憶への文脈反映

次に、時間の経過とともに環境の変動が起こりうることを考慮し、生成された記憶オブジェクトの持つ存在確率値を操作する。記憶に文脈情報すなわち時間的経過に関する情報を持たせるため、物体の存在確率 p_{exist} を次の規則に従って更新する。

$$p_{exist}(t+1) = p_{exist}(t) \cdot (1 - \omega(t) + \alpha \sum_{all} R(self, obj)) \quad (1)$$

ただし、

- $\omega(t)$: 時刻 t における記憶減衰係数 ($0 < \omega < 1$)
- $R(objA, objB)$: $objA, objB$ 間の記憶想起係数 ($0 < R(objA, objB) < 1$)
- α : 正規化係数

ここで、記憶減衰係数は対象物の確率付きの属性値によって決定され、確信度の高い属性値が多いほど小さくなるように設定される。記憶想起係数は対象物 A と対象物 B の関係により決定され、同じ状況またはタスクで参照された時などに増加設定される。式(1)はロボットの記憶に対する存在の確信度を表し、忘却と想起・確認によって常に変動することを示している。これにより昔に見たものの確信度は薄れ、関係の深いものによって確信度を上げるような仕組みが実現可能となっている。

3. 対話に基づく行動決定モデルとの融合

従来までに筆者らが提案してきている、ベイジアンネットワークによって行動を決定するシステム [4],[5] と、この記憶モデルとを融合することで、確率的な記憶モデルに基づいて行動を決定するシステムを構築することが可能となる。

ロボットがユーザからの指示を理解するための「タスクネットワーク」をベイジアンネットワークの形で与えられ、そのタスクネットワークに従って推論を行ったり、行すべき行動を決定するが、タスクネットワークの推論の根拠となる物体の空間的存在状況の確率として、本稿で示した確率的記憶モデルから出力される確信度を利用する構造となっている。

図3は対話、観察、行動計画の統合の様子である。

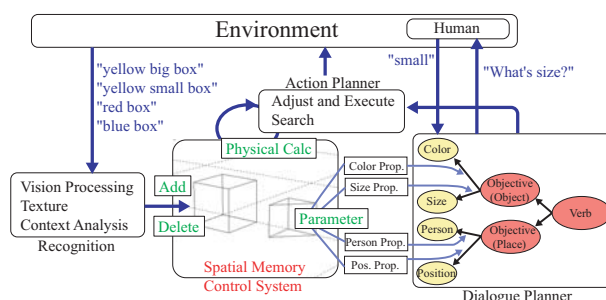


図3: 記憶管理システムと対話システムの統合システム

従来までも、言語表現による指示を理解する際に、確率的な表現を用いて曖昧性を回避する研究例 [6] があるが、動的に変動して行く環境に対してリアルタイムに記憶モデルを更新しつつ対話を遂行して行く点がこの記憶モデルの新規点である。この仕組みを元に、観察によって得た経験に基づいて人間の曖昧な指示を理解し適切な対象物を特定したり、その後状況が変わってしまっても、記憶を参照し、確率的な推論を行うことで大まかな推測を行うような行動が可能となる。

4. 確率的空間記憶モデルを利用した協調的行動実験

以上で述べた記憶システムと行動計画システムを利用し、ヒューマノイドロボットがユーザとのインタラクションを介してタスクを実行する実験について述べる。

4.1 記憶による文脈の把握と行動制御実験

この実験では、人間がロボットにある物体を運んでくるタスクを指示する状況を取り扱う。ロボットは部屋の中を動き回るので、部屋の中のどの位置のどの物体が、ユーザの支持した物体であるのか、ということ判断する必要が生じる。仮想環境における実験の流れを 図 5 および図 4 に示す。

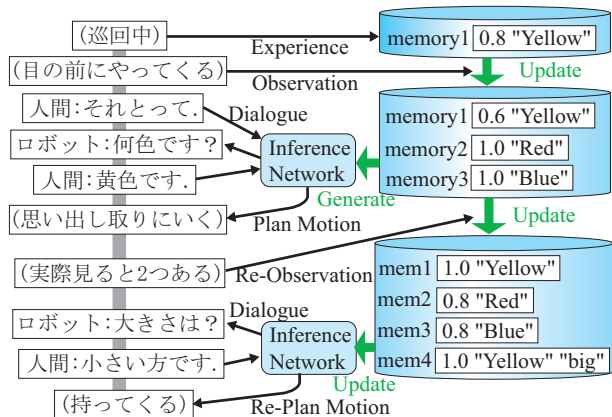


図 4: 物体の特定までに至る記憶モデルの参照

図 4 右部に円柱で表される記憶は時間と共にロボットが発見した物体に関する情報が蓄積されていく。観測されなくなってしまった物体の存在確率は下がっていくがその物体しか当てはまらない条件を指定された場合はその物体を思い出すことが可能である。また、再び観測されれば、整合性の計算の後に整合すると判断されれば存在確率を上げる仕組みになっている。

4.2 物体の名称・意味の推定実験

次に、単に言語的な表現から対象物を特定するだけでなく、日常生活における物体の役割や意味を記憶させる実験例について述べる。ここでは缶とペットボトルを分別して専用のゴミ箱に捨てるタスクについて考え、目の前にある二つの物体(ゴミ箱)について、缶用のゴミ箱とペットボトル用のゴミ箱を判断するために、図 6 のようなネットワークを用いる。ロボットは画像情報から得られた色のアナログ値を離散化した上でネットワークの Red, Blue, Green ノードに入力し、さらに物体の位置および大きさの情報も Position, Size ノードに入力する。色情報は色のシンボルに変換され、最終的に Trash Box Type ノードを対象とした推論を行うことで、缶かペットボトルかという判断を下す。

図 7 は、実際のロボットの行動列を示したものである。ここでは缶を捨てる行動を取ろうとしており、缶のゴミ箱(黄色)をさがすことになる。始め(1)では、青い物体が視野に入り、確率的推論の結果からペットボトルのゴミ箱であると判断し、さらにゴミ箱を探す行動に移る。次に(2)で目的のゴミ箱を探しあて、実際に捨てる行動に移っている。

5. おわりに

本稿では常に変わり続ける環境の中でロボットが状況と文脈を考慮して対話に基づいて人間の指示を理解することを目的とし、ロボットが持つべき内部表現の仕組みとこれらを確率的に管理する手法を提案した。この仕組みを用いて、ロボットが常

に変化する環境の中で物体の存在を確率的にとらえることで時間的な軸に沿った情報の扱いを可能にし、自身の経験とその場の状況に基づいた推論が実現可能になった。

この枠組みは、多岐に渡った状況に応用可能である。例えば、今回の物体とロボットの関係だけでなく、人間を観察するロボットの認識モジュールとしても活用可能である。特に、指さし動作をしながら物体を指示し、その物体を判別して把持を行うような状況にはこの記憶モデルが有効となる。文献 [7] では、指さし動作によって捨てるべきゴミの物体を指定し、さらに、ロボットが捨てる先のゴミ箱を理解できていない場合には、捨てる先のゴミ箱も指さして教示するタスクを実現している。このように、物体が存在する場所・物体の形状・物体の視覚情報を 3 次元記憶モデル内に構築し、マネージメントする能力は人間と共存するロボットにとって重要な位置を占める。

今後は発話戦略の決定部分に、確率的な記憶との連動を取らせるなどの応用について研究を進めて行く予定である。

参考文献

- [1] 川路友博, 岡田慧, 稲邑哲也, 稲葉雅幸. 物体の存在確率を表現する空間記憶を観察と対話によって獲得するロボットの行動決定システム. 第 5 回 SICE システムインテグレーション部門講演会講演概要集, pp. 170-171, 2004.
- [2] 新山祐介, 徳永健伸, 田中穂積. 自然言語を理解するソフトウェアロボット: 傀儡. 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. 6, pp. 1359-1367, 2001.
- [3] 若松良久, 近藤敏之, 伊藤宏司. インタクションを考慮したロボットの内部表現システムの検討. 第 17 回人工知能学会全国大会論文集, pp. 2D1-08, 2003.
- [4] 稲邑哲也, 稲葉雅幸, 井上博允. PEXIS: 統計的経験表現に基づくパーソナルロボットとの適応的インタラクションシステム. 電子情報通信学会誌, Vol. J84-D-I, No. 6, pp. 867-877, 2001.
- [5] Tetsunari Inamura, Masayuki Inaba, and Hirochika Inoue. PEXIS: Probabilistic Experience Representation Based Adaptive Interaction System for Personal Robots. *Systems and Computers in Japan*, Vol. 35, No. 6, pp. 98-109, 2004.
- [6] 徳永陽, 徳永健伸, 田中穂積. ロボットの行動命令における不明確性の解消. 第 2 回情報科学技術フォーラム: FIT2003, pp. 101-103, 2003.
- [7] 大久保康基, 岡田慧, 稲邑哲也, 稲葉雅幸. ロボットの日常生活支援行動のオンサイト教示のための指差しジェスチャー認識. 電子情報通信学会技術研究報告 信学技報, 第 105 巻, pp. 11-16, Sept 2005. NLC2005-38, PRMU2005-65.

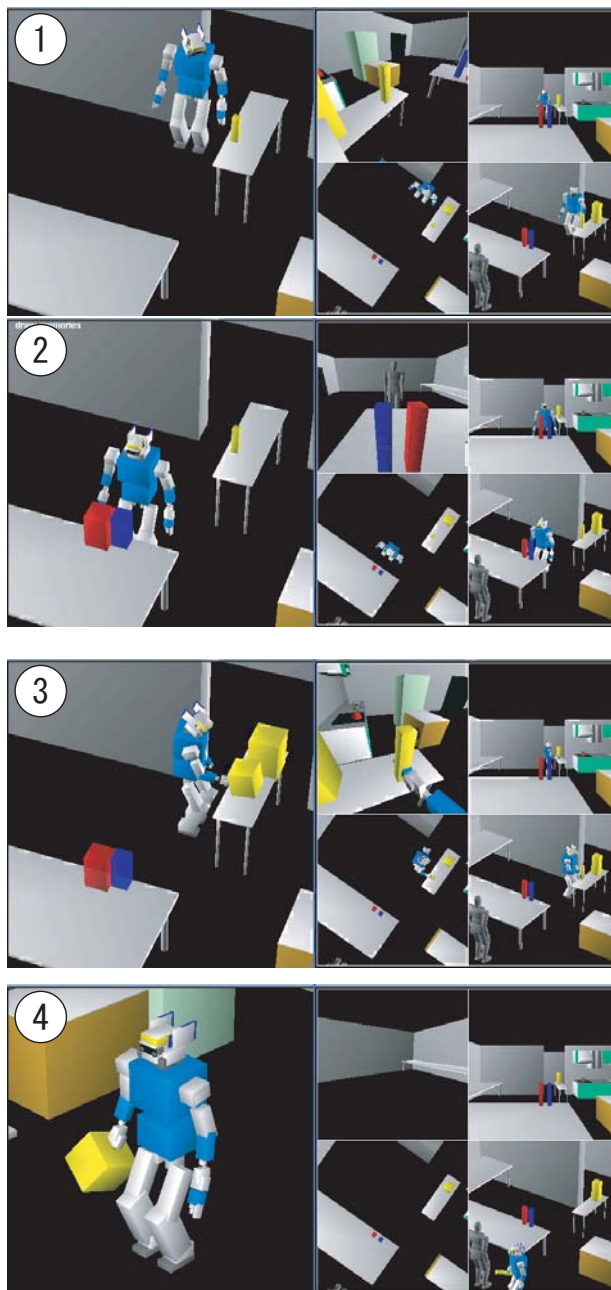


図 5: 文脈を管理する記憶モデルに基づく対話行動実験 (左: 記憶モデル, 中上: ロボットの視線からの画像情報, 右下: 実際の状況) 1: 実際には黄色い物体が二つあるが一つを認識ミスしている. 2: 場所を変えた所でユーザから「黄色い物体を取れ」との指令が来る. 3: 記憶を用いて前の場所に移動し注視すると黄色い物体が二つあることに気づく. 4: 質問を行い適切な対象物を選んで運んでいる.

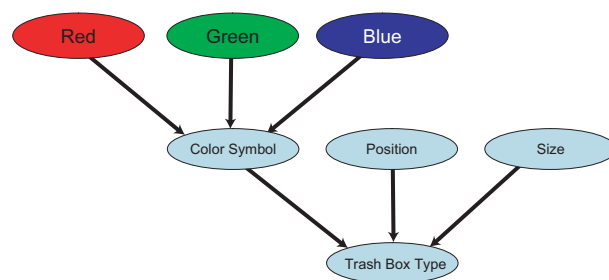


図 6: ゴミ箱の識別に用いられるベイジアンネット

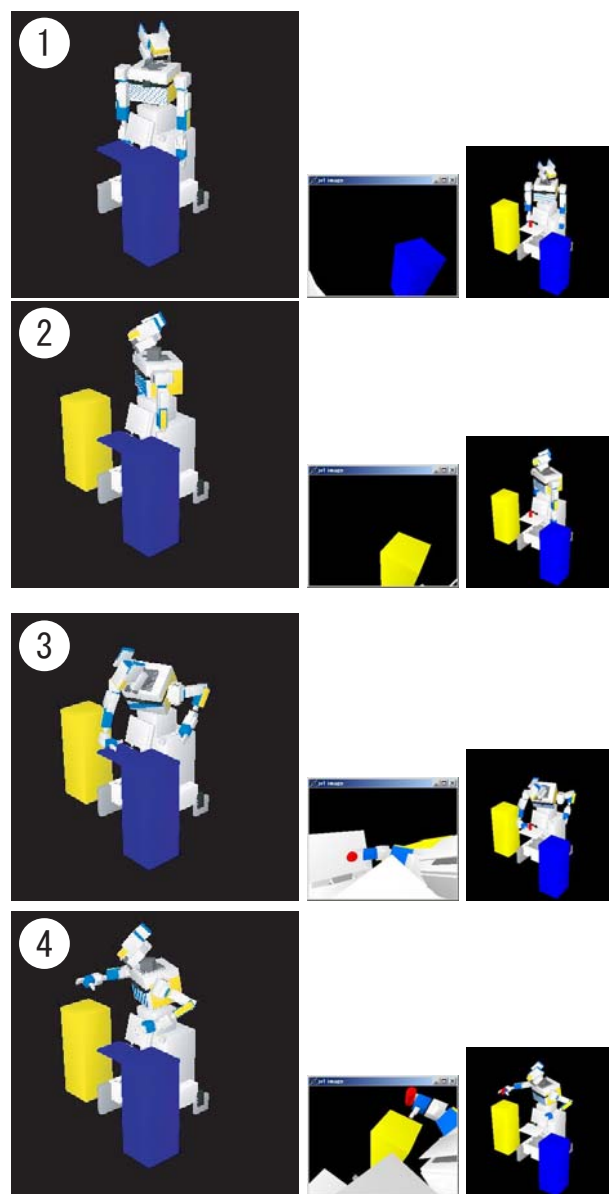


図 7: ゴミの分別廃棄タスクにおける動作例. 左: ロボットの記憶モデル, 中: ロボットが見ている画像情報, 右: 実際の環境の様子. 1: 缶を捨てようとゴミ箱を探索し, どの分別に対応したゴミ箱かの推論を行う. 2: 目的とは違うゴミ箱を見たので別の方向を探索. 3-4: 目的のゴミ箱だったので捨てる動作を実行.