

# 事例ベース推論によるロボットの行動命令に含まれる不明確性の解消

徳永 陽<sup>†</sup>

橋本 泰一<sup>‡</sup>

徳永 健伸<sup>§</sup>

田中 穂積<sup>¶</sup>

東京工業大学大学院情報理工学研究所<sup>||</sup>

## 1. はじめに

我々が日常使う言葉は、多くの不明確性 (vagueness)<sup>[1]</sup> を内包している。本稿では、ロボットの方向指示語に含まれる不明確性を扱う。例えば「右に曲がって」と命令を受けた場合、右に何度曲がれば良いかを操作者との対話により獲得する機構をロボットに組み込む。

ロボットとの対話システムに関する研究には、これまでも様々あるが、不明確性の問題解決は状況に依存して決まり、一般にルール化が困難であるなどの理由から、ほとんど取り上げられていない。

Acorn-II<sup>[2]</sup> は、「大きく回れ」などの不明確性を解消するシステムであるが、操作者はマウスにより大きさを直接与えなければならない。また、FIGLET<sup>[3]</sup> は、文脈によって顔を描写するシステムで、調整を行うための発話も扱えるが、システムが提示する複数個の選択肢の中から、適切な1つを直接選択するものである。

それに対し、本稿では、命令は全て不明確性を含む命令で与える。ロボットは、命令の発せられた時刻や間隔、走行方向、走行速度、ロボットの位置を状況情報として用い、操作者の命令に含まれる不明確性の解釈を徐々に学習しながら、操作者の意図した経路を走行する。命令に含まれる不明確性のために、ロボットが、操作者の思い通りに行動をしない場合には、状況に応じて命令を繰り返し与えて学習させる。この修正用の命令は、数値による絶対値を与えるのではなく、不明確性を含む命令で与える。我々は、この状況に依存したルール化しにくい不明確性の問題を、ロボットとの対話を通じた学習により解決する。

## 2. 事例ベース推論による不明確性の解消

### 2.1 ロボットの行動命令

ロボットの行動を制御するために、A:進行系命令(「前へ」「止まれ」)、B:右回転系命令(「右に」「ちょっと右に」「ほんのちょっと右に」)、C:左回転系命令(「左に」「ちょっと左に」「ほんのちょっと左に」)、D:調整命令(「ちょっと動いて」「ちょっと戻って」「ちょっと行き過ぎ」)の11の命令を用いる。

進行系命令、右回転系命令、左回転系命令を不明確性を学習させる対象とする基本命令として用い、他の命令を行動量を修正する調整命令として用いる。ただし、基本命令も前の命令の時間間隔が短い場合は、調整命令として機能する。それぞれの命令にはあらかじめデフォルト値が与えられている。

操作者は基本命令を用いてロボットを経路に沿ってゴールまで操作する。基本命令では経路を逸れる場合には調整命令によって動作を補正する。例えば、「右に」命令に

対して、「ちょっと戻って」などの調整命令を繰り返し出し、操作者の意図した動作量に修正する。時間間隔がある一定以上開いて出された命令は、基本命令として扱う。基本命令とそれに対する調整命令時に行う動作量の推論処理を局所的な推論と呼ぶ(図1)。対話終了後、対話中で得られた局所的な推論結果を過去の学習データと比較することにより、現在の走行結果が過去の経路と同じかどうかを判定することを大局的な推論と呼ぶ。

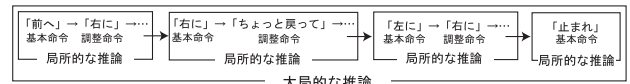


図1: 対話例

### 2.2 不明確性の解消手順

前節で述べた対話中の命令に含まれる不明確性を解消するため、局所的な推論と大局的な推論を行う。各推論は、事例ベース推論により行い、事例は学習データベース、履歴データベースに蓄える。学習データベースは、過去に学習した経路を蓄えるもので、経路は基本命令とその命令が出された位置情報、動作角度で表現される。また、履歴データベースは、現在学習中の経路において出された全ての命令を位置情報とともに蓄えたものである。1つの経路に対して、繰り返し対話を行い不明確性を解消し、最少の基本命令で操作者の意図した経路走行が行えるようになれば、学習データベースに格納する。

#### 2.2.1 局所的な推論

局所的な推論のフローを図2に示す。操作者の命令が基本命令の場合は、動作量の不明確性を解消する。基本命令が出されると、命令の出された時刻と、前の命令の動作量からその基本命令の出された位置の座標を計算する。次に、学習データベース、履歴データベースに蓄えられている同じ系の命令(A~Cの同じ系)を参照し、現在までの基本命令の系列の各命令の位置とデータベース中の命令系列の対応する各命令の位置とのずれの総和を計算する。この総和が閾値以内である過去の事例がある場合は、その中で座標間の距離の和が最も小さい事例の動作量を用いる。類似事例が無い場合は、あらかじめ割

Solving Vagueness in Robot-controlling Commands by Case-based Reasoning

<sup>†</sup>Nodoka TOKUNAGA, nodoka@c1.cs.titech.ac.jp

<sup>‡</sup>Taiichi HASHIMOTO, taiichi@c1.cs.titech.ac.jp

<sup>§</sup>Takenobu TOKUNAGA, take@c1.cs.titech.ac.jp

<sup>¶</sup>Hozumi TANAKA, tanaka@c1.cs.titech.ac.jp

<sup>||</sup>Graduate School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

<sup>1</sup>類似語である曖昧性 (ambiguity) は、語や語の結合が2つ以上の異なる意味を有するものであり、1つの言語表現に無限の解釈の可能性がある不明確性とは異なる。

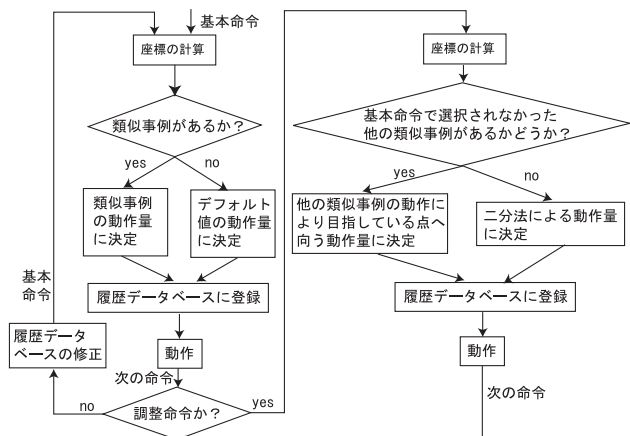


図2: 局所的な推論のフロー

り当てられているデフォルト値を用いる．こうして決定した動作量を履歴データベースに蓄え，その動作量でロボットが動作する．

調整命令は，基本命令に対してシステムが推定した動作量が間違っていた場合に操作者によって出される．たとえば，基本命令「右に」で80度動作し，「ちょっと戻って」などの調整命令が出された場合は，その状況における「右に」に対する動作量を60度などの小さい動作量で動作すべきであったといえる．基本命令時に推定されるべきであった動作量を基本命令時の座標と次の基本命令時の座標から算出する．そのため，調整命令時の動作量は，ロボットが向かうべき点を推定し，その点に向かうように決定する．

調整命令が出されると，基本命令の場合と同様に座標を計算する．現在調整中の基本命令の動作量を決定する際に閾値以内のものが複数あれば，その時選択されなかった事例で目指していた点に向かうように動作量を算出する．閾値以内の事例が他に無い場合は，二分法により，動作量を決定する．決定された動作量を履歴データベースに蓄え，ロボットは動作する．調整命令は，操作者の思い通りの点に向かうようになるまで繰り返し出される．調整命令を繰り返すことにより，次の基本命令が出された時，その座標と前の基本命令の座標から，動作量を算出する．そして，この算出された動作量を基本命令の操作者が望んでいた正しい動作量として，履歴データベースに蓄積されている基本命令の動作量を修正する．

## 2.2.2 大局的な推論

対話中で得られた局所的な推論結果を過去の学習データベースと比較することにより，現在の走行結果が過去の経路と同じか判定する．まず，対話中で基本命令が出された各座標と過去の試行の各座標の距離の和を計算する．経路の座標距離の和が一番小さいものが，閾値以内の場合は，その経路走行を行っていたと認定し，閾値より大きい場合は，新しい経路走行であると認定する．

## 3. 実験及び考察

前章で述べたアルゴリズムを用いて，クランク型経路の走行実験を行う．

走行経路は，スタート地点，ゴール地点は固定し，ロボットが方向を変える2つの地点(例えば，図5では「右に」「左に」命令の出された地点)を乱数によりランダムに発生させたものを用いた．これらの4点の上を，最少の基本命令のみで通れるようになれば，不明確性が解消されたものとする．各命令は，割り当てられたキーボードのボタンにより入力する．

### 3.1 実験 1

学習データベースを用いず，10種類の経路を走行させる実験を行った．最初は，あらかじめ割り当てられているデフォルト値で動作させ，繰り返し操作者が動作指示することにより，各行動命令の適切な動作量を獲得する．

全ての経路において，2~6回目の試行で操作者の意図した経路走行ができた(表1)．2.2節で説明した不明確性の解消手法は，基本命令の出される位置に依存する．「右に」「左に」などの命令が，操作者の望んでいる位置で出されれば，次の試行で，それらの位置から適切な動作量(角度)を計算することが，可能なためである．少ない試行回数で，操作者の意図した経路が走行できたものは，基本命令の出される位置への誘導が適切であった．調整

表 1: 試行回数

経路番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
試行回数	3	3	4	5	3	6	2	2	3	3

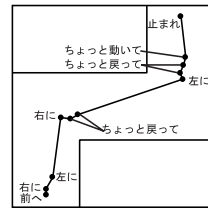


図 3: 経路 1(1 回目)

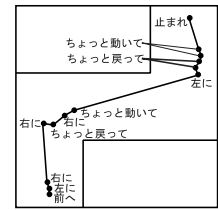


図 6: 経路 9(1 回目)

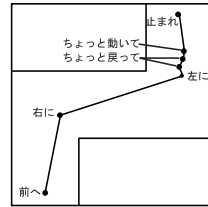


図 4: 経路 1(2 回目)

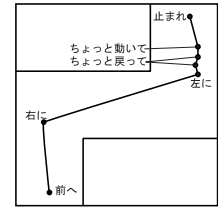


図 7: 経路 9(2 回目)

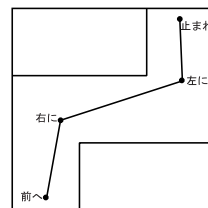


図 5: 経路 1(3 回目)

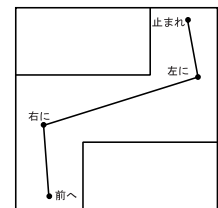


図 8: 経路 9(3 回目)

命令の出される回数の少ないものは，少ない試行回数で，調整命令の出される回数の多いものは，多くの試行回数を要する傾向にあった．実験結果の例を図3~8に示す．

## 3.2 実験 2

実験1で経路1~10までの走行実験を行った学習結果を全て蓄えて，再度全ての経路を各10回ずつ走行させた．実験は，過去に学習させた経路走行を行った際に，正しく同じ経路走行を行っていることを認識できるかを調べるためのものである．また，最後に11個目の経路を乱数により生成し，異なる経路であると認識されるかを調べた．

経路1~10までの各10回の検証実験の結果，全ての試行において，操作者の意図した正しい経路であると判定された．また，最後に与えた経路11は，10回とも異なる経路であると判定された．

## 4. おわりに

本稿では，ロボットの行動命令に含まれる不明確性を事例ベース推論により解消する手法について述べ，実験によりその有効性を示した．

今後の主な課題は，適切な解釈の幅の分析などである．今回の実験では，行動命令として各命令に割り当てられたキーボードのボタンを用いたが，操作者の発する様々な行動命令に対応する方法についても検討を行う．本稿では，単純な走行路で実験を行ったが，より複雑な走行路で不明確性の解消がどのように行われるのかを考察することも残された課題である．

## 参考文献

- [1] Rosanna Keefe and Peter Smith, editors. *VAGUENESS: A READER*. The MIT Press, 1997.
- [2] 岡田 豊史, 開 一夫, 安西 祐一郎. ロボットコマンド学習システム Acorn-II とその評価. 人工知能学会誌, Vol. 9, No. 6, pp. 882-889, 1994.
- [3] David DeVault and Matthew Stone. Interpreting Vague Utterances in Context. In *Proceedings of COLING 2004*, pp. 1247-1253, 2004.