

ロボットの行動命令に含まれる不明確性の解消過程

Process of Solving Vagueness in Robot-controlling Commands

徳永 陽*¹ 橋本 泰一*¹ 徳永 健伸*¹ 田中 穂積*¹
 TOKUNAGA Nodoka HASHIMOTO Taiichi TOKUNAGA Takenobu TANAKA Hozumi

*¹東京工業大学大学院情報理工学研究科

Graduate School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

Generally, a word has various interpretations. This phenomenon is called “vagueness”. In this paper, we will reveal the process of solving vagueness. A robot runs along a crank-shaped course according to user commands. When a command is input, the robot acts based on an interpretation of the command. In cases when the interpretation is not appropriate, adjustment commands are necessary. Through repetition, the appropriate action to each controlling-command is learned, i.e., vagueness is solved. User’s commands, robot’s position and appropriate actions are memorized and this information reused in experiments on different courses from the one with a good performance level. We will show how this information is reused, and discuss process of acquiring appropriate interpretations.

1. はじめに

我々が日常使う言葉には、多くの不明確性 (vagueness)*¹[1] 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、何度曲がれば良いかを操作者との対話により獲得する。それぞれの命令が使われる時の状況や使われ方をデータベースに蓄積し、そのデータベースを用いて、適切な1つの解釈 (不明確性の解消) に至る過程を分析する。また、これらの不明確性を解消した結果、逐次に行動命令をすることなく、今まで学習した結果を用いて、操作者の意図した経路を走行できるようにするための予備検討も行う。

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。不明確性を扱った研究である Acorn-II[5] は、「大きく回れ」という命令の動作量に含まれる形容詞「大きい」の持つ不明確性を学習により解消するものである。しかし、状況に応じてどれだけの大ききさで回れば良いかを、ワークステーション上のマウスを用いて入力し、マウスの軌跡通りに行動するのに必要なステッピングモータの制御値をワークステーション上で計算し、ロボットに与えている。これは状況に応じて具体的に何度曲がるかその絶対値を教示するのと等価である。

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、8つの赤外線センサの出力値による位置を状況情報として検出し、それらを根拠に操作者の言葉 (命令) に含まれる不明確性の (状況に依存した) 適切な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タスクを実行する。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) 修正用の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消することを試みる。

具体的には、行動命令が出された状況が、それまでの履歴として蓄えている状況情報データベース (行動命令、状況情報、動作量、時間からなる) の中にあるどの状況情報と類似しているか、また同じ種類の命令であるか参照し利用する。類似しているものがない場合はあらかじめ割り当てられているデフォルト値を動作量として用いる。ロボットへの行動命令には、「右に」、「左に」などの基本命令のほかに、「ちょっと動いて」、「ちょっと戻して」などの調整命令を加えた11の命令を用いる。先に述べたように、基本命令に含まれる不明確性に関する判断の誤り修正を行う調整命令そのものにも不明確性が含まれている。したがって、修正用命令に対して更に修正用命令が行われることもある。このような命令による教示は、親が子供に動作を学習させる場面で、よく用いられる自然な方法である。

我々は、インタラクティブな学習により、不明確性の解消を行う方法について検討を行ってきた [6] が、本稿では、それぞれの命令が使われる時の状況や使われ方を学習し、適切な1つの解釈を獲得 (不明確性の解消) する過程を実験的に分析・考察する。

2. 学習による不明確性の解消

2.1 使用する11の命令

「直進」、「止まれ」、「右に」、「左に」の4つ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、「ちょっと動いて」、「ちょっと戻して」、「ちょっと行き過ぎ」、「ちょっと右に」、「ちょっと左に」、「ほんのちょっと右に」、「ほんのちょっと左に」の7つは基本命令の行動量を修正する調整命令として用いる。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。

2.2 学習方法

基本命令の動作が操作者の思い通りの行動でなかった場合は修正用の調整命令を出す。この調整命令の出される状況と頻度を用い、基本命令に対する状況に応じた適切な動作量を学習させる。たとえば、基本命令「右に」に対し、「ちょっと戻して」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」に対する動作量を小さい値に変更 (学習) する。具体的には、ロボットは、各命令に対して、動作した後は、直進動作を

連絡先: 徳永 陽, 東京工業大学情報理工学研究科計算工学専攻,
 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1, 03-5734-3046,
 nodoka@cl.cs.titech.ac.jp

*¹ 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のある不明確性とは異なる。

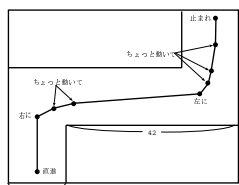


図 8: 走行路 2(1 回目)

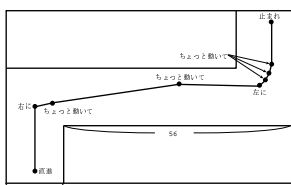


図 10: 走行路 3(1 回目)

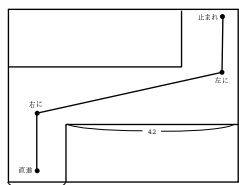


図 9: 走行路 2(3 回目)

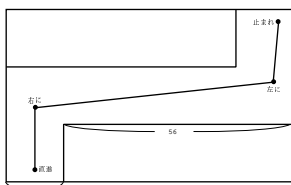


図 11: 走行路 3(3 回目)

14cm 長くした走行路 2(図 8) の実験を行った。3 回目でも基本命令のみで最短経路に近い走行が可能になった(図 9)。

走行路 3(図 10) は、真ん中の部分を更に 14cm 長くしたものである。本実験では走行路 2, 走行路 1, 実験 3.1 の学習結果をデータベースに蓄積されている事例を用いた。3 回目でも、正しい動作量が獲得されたため基本命令のみで操作者の意図した経路に近い走行が可能になった(図 11)。

比較のため同じ走行路 3 での実験を、今まで蓄積した状況情報データベースを用いずに実験 3.1 で用いたデフォルト値を用いて、行った実験結果を図 12~14 に示す。走行路 3 で操作者の意図した経路に近い経路を走行するために、4 回の試行が必要であった。

走行路 4 は、幅 14cm のクランクを 2 つつなげたものである。この走行路の実験においては、今までに学習した結果を用いることにより、一度も学習させることなく(調整命令を出すことなく)、操作者の意図した経路に近い走行ができた(図 15)。

最後に今まで学習を行うことによって蓄積した状況情報データベースを用いて、再度各走行路で実験を行った(図 16~21)。幅 21cm クランク, 走行路 1, 2, 4 は、1 回も学習をさせることなく操作者の意図した経路で走行させることができた。走行路 3 のみ 1 回の学習が必要であった。

3.4 自動走行実験

今までは、各命令(「右に」「左に」など)の不明確性の解消を行ってきた。これらの不明確性を解消した結果、逐次に行

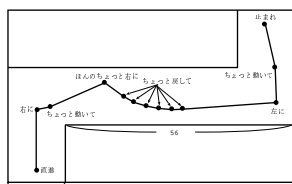


図 12: 学習無し(1 回目)

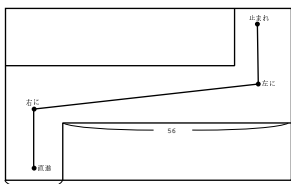


図 14: 学習無し(5 回目)

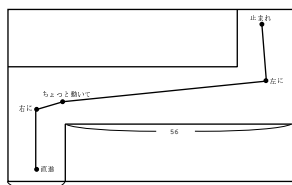


図 13: 学習無し(3 回目)

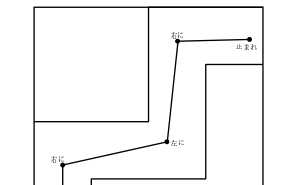


図 15: 走行路 4(1 回目)

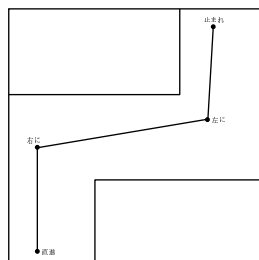


図 16: 幅 21cm クランク

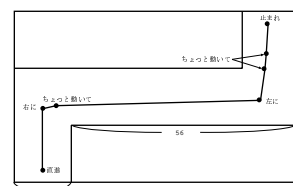


図 19: 走行路 3(1 回目)

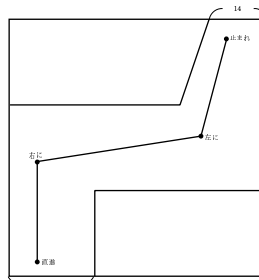


図 17: 走行路 1

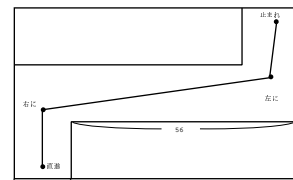


図 20: 走行路 3(2 回目)

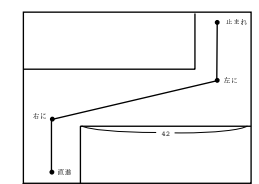


図 18: 走行路 2

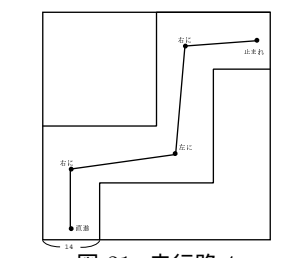


図 21: 走行路 4

動命令をすることなく、今まで学習した結果を用いて、操作者の意図した経路を走行できるようになることが期待される。

そこで、予備検討として、幅 21cm クランクで、出発点(クランクの入口)と到達点(クランクの出口)の位置を適当に与えて、その中間の経路は、今まで学習させた結果を用いて、ロボット自身に判断させて走行させた所、図 4 と同様な経路をたどって自動走行することが分った。

4. 不明確性の解消過程に関する分析と考察

本章では、前章で行った種々の実験を分析し、過去の学習結果が不明確性の解消に対してどのように活かされているかを考察する。

走行路 1 は、実験 3.1 の学習結果を用いているので「右に」の動作量は適切である。「左に」は動作量の調整が必要であるが、変更量は小さい。したがって、1 回目の調整命令により獲得した動作量が適切となり、2 回目には(1 回の学習だけで)基本命令のみで最短経路に近い走行が可能になった。走行路 2 は、走行路 1 と実験 3.1 の学習結果を蓄積しており、1 回目の「右に」は、2 回の調整が行われた。「左に」は、走行路 1 で小さい角度に調整した影響があり、角度を大きく変える必要があるため、調整命令が 3 回出されている。

走行路 3 を例に、不明確性の解消過程を分析する。具体的には「右に」「左に」命令の適切な動作量を決定するのに、過去の事例をどのように利用するかを調べる。「右に」の状況情報(各センサと壁の距離)と決定された動作量を以下に記す*3。

- 幅 21cm のクランク 60 度
12.25 22.25 7.5 22.25 22.25 18.25 18.25 22.25

*3 幅 21cm のクランク, 走行路 1, 走行路 2 は基本命令のみで操作者の意図した経路走行が行えた時の情報のみ用いる。

- 走行路 1 60 度
5.95 14.25 24.25 8.56 14.25 24.25 24.25 7.50
- 走行路 2 74 度
14.25 5.11 4.21 22.25 22.25 6.58 3.77 7.50
- 走行路 3-1 回目 68 度
4.42 10.25 16.25 12.25 8.56 8.56 4.63 4.63
- 走行路 3-2 回目 75 度
7.50 5.95 5.95 16.25 24.25 5.95 7.50 5.95
- 走行路 3-3 回目 81 度
8.56 12.25 5.53 12.25 24.25 5.11 5.95 12.25

前に述べた方法で類似判定を行った結果と、最新の動作量への重み付けの結果、走行路 3 の各試行における用いられる過去の結果は以下の様になる (不等号は、優先順位)。

1. 走行路 3-1 回目
走行路 2 > 走行路 1 > 幅 21cm のクランク
2. 走行路 3-2 回目
走行路 3-1/3 > 走行路 2 > 走行路 1 > 幅 21cm のクランク
3. 走行路 3-3 回目
走行路 3-2/3 > 走行路 3-1/3 > 走行路 2 > 幅 21cm のクランク

次に「左に」の状況情報と決定された動作量を以下に記す。

- クランク幅 21cm 60 度
22.25 8.56 7.50 22.25 24.25 10.25 22.25 24.25
- 走行路 1 48 度
20.25 22.25 16.25 6.58 18.25 12.25 22.25 6.58
- 走行路 2 69 度
18.25 5.95 3.65 5.11 5.53 4.63 16.25 7.50
- 走行路 3-1 回目 61 度
10.25 24.25 5.11 5.11 10.25 10.25 14.25 5.53
- 走行路 3-2 回目 61 度
12.25 6.58 4.63 8.56 4.42 4.21 22.25 24.25
- 走行路 3-3 回目 74 度
24.25 4.00 3.30 5.11 18.25 3.54 12.25 24.25

「右に」と同様に、用いられる過去の結果を以下に記す。

1. 走行路 3-1 回目
走行路 2 > 走行路 1 > 幅 21cm のクランク
2. 走行路 3-2 回目
走行路 2 > 走行路 1 > 幅 21cm のクランク
3. 走行路 3-3 回目
走行路 3-2/3 > 走行路 2 > 走行路 1 > 幅 21cm のクランク

以上の結果から、「右に」の類似判定は、予測される妥当な事例 (例えば、3 回目の走行では、過去の 2 回目、1 回目の優先順位) が参照されている。異なった状況では、適切な動作量に近い値がデータベースに蓄積されていれば、少ない学習回数で適切な動作量を獲得することが示された。

また「左に」は、2 回目、3 回目では、過去の 1 回目のものが類似状況であると判定されなければならないが、実際は異なる状況であると判定されている。ビデオ撮影した軌跡と照合したところ、他の状況比較から判断しても問題なく類似であると判定される状況であった。状況情報データベースに蓄えられているそれぞれの類似状況を分析すると、3 回目の状況においてセンサ 0 の値が 24.25 という走行路の幅 14cm という状況では考えられない値になっていた。ハードウェアロボットのセンサは、実世界で動作するためのノイズ、離れた距離が正確に判定できないなどの問題によるものであると考えられる。

走行路 4 は、幅 14cm のクランクを 2 つつなげたものである。この走行路の実験においては、今までに学習した結果を用

いることにより、一度も学習させることなく (調整命令を出すことなく)、最短経路に近い走行ができた (図 15)。また、全ての走行路での学習結果を蓄えて行った実験 (図 16~21) より、過去に学習したものを効率よく利用し、適切な動作量を獲得できることが示された。類似事例が複数個存在する場合の動作量の算出方法には、「一番最新のもののみを使う方法」、「ベクトル空間距離が一番大きいものを使う方法」、「上位のもののみを使う方法」、「最新のものに重みを置く方法」があるが、本稿では、全てのクランク型を基本にした走行路を実験に用いることとしたので、「最新のものに重みを置く方法」を採用した。これは、同じ走行路において、複数回操作者とのインタラクティブな学習を繰り返すことにより、適切な動作量の獲得 (不明確性解消) を行う際に、前のものが優先され、かつ少ない過去の事例である場合もより適切な動作量を算出できる方法である。この方法は、同じ走行路で繰り返し実験を行う場合やそれまでに実験に近い形状の走行路で実験を行う場合は、有用な方法であると考えられる。

実際、相似縮小したクランク型走行路では既学習の結果がそのまま利用でき、基本命令 (言葉) に対する不明確性は解消されている。また、異なった状況では、適切な動作量に近づけば少ない学習回数で適切な動作量を獲得する。

5. おわりに

本稿では、言葉 (命令) に含まれる不明確性の解消をテーマに取り上げ、学習により、命令の適切な意味を獲得する過程を明らかにした。

今後の主な課題は、状況情報や人に依存する命令の持つ不明確性の解消過程の分析、「適切な解釈 (不明確性の解消)」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 (信号) を用いていたが、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。その時、既学習結果がどのように利用されるのかについても検討する必要がある。

参考文献

- [1] Rosanna Keefe and Peter Smith, editors. *VAGUENESS: A READER*. The MIT Press, 1997.
- [2] Janet Kolodner. *Case-Based Reasoning*. Morgan Kaufmann, 1993.
- [3] Francesco Mondada, Edoardo Franzi, and Paolo Ienne. Mobile robot minituarisation: A tool for investigation in control algorithms. In *Proceedings of Third International Symposium on Experimental Robotics*, 1993.
- [4] KTeam. *KheperaII User Manual*, 2002.
- [5] 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.
- [6] 徳永 陽, 徳永健伸, 田中穂積. インタラクティブな学習によるロボットの行動命令に含まれる不明確性の解消. 人工知能学会研究資料, SIG-SLUD-A303-01(3/5), pp. 1-6, 2004.