LE-009

ロボットの行動命令における不明確性の解消
A Method for Solving the Vagueness in Robot Action Commands

徳永 陽 † Nodoka Tokunaga　徳永 健伸 † Takenobu Tokunaga　田中 穂積 † Hozumi Tanaka

1. はじめに

我々が日常使う会話の言葉には，多くの不明確性 (vagueness)[1] を内包している．インタラクティブに行う会話では，その不明確性を解消する過程が含まれていることがある．多様な解釈が可能な不明確な言葉も，その言葉が使われる状況や繰り返し会話を行う過程で不明確性を学習し，適切な解釈の一つに至る．その学習の過程をアルゴリズムとして取り出し，ロボットに組み込むことを試みる．実験では，決められた走行路を操作者 (人間) の発する言葉 (命令) を解釈してゴールに至るロボットを用いる．

ロボットは，言葉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，脱輪することなくできるだけ早くゴールに到達するタスクを実行する．

ロボットとの対話システムに関する研究には，これまでにも様々あるが，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[3] 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，本研究では，命令は全て不明確性を含む言葉で与える．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行わない場合には，(状況に応じて) 修正用の命令を繰り返し与える．この修正用の命令は，数値による絶対値を与えるのでなく，不明確性を含む言葉で与える．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．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,「ちょっと動かして」,「ちょっと戻して」などの調整命令を加えた 11 の言葉を用いる．先に述べたように，基本命令の誤り修正を行う調整命令 (言葉) そのものにも不明確性が含まれていることに注意したい．また，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．このような言葉による教示は，親が子供に動作教示を行う場面で，よく用いられる自然な方法である．

†東京工業大学情報理工学研究科計算工学専攻
{nodoka, take, tanaka}@cl.cs.titech.ac.jp

2. 不明確性

たとえば,「右に」や「ちょっと右に」には，どの程度の右であるかについて (厳密に言えば) 無限の解釈 (不明確性) が存在する．人間は，過去の経験や発話の場面などを用いてこのような不明確性を解消し行動している．ロボットが動作するためには，命令に含まれる角度や速度などに関する不明確性をロボット自身が解消する必要がある‡.

3. 学習による不明確性の解消

3.1 実験のシナリオ

・使用する 11 の命令

「直進」,「止まれ」,「右に」,「左に」の 4 つを基本命令として用い,「ちょっと動かして」,「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，デフォルト値が与えられている．

・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が，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，調整命令の出された回数 n を用いて式 (1) より，各状況における基本命令の動作量を算出する．

$$\text{動作量} = [\text{基本命令の動作値}] \pm [\text{調整命令の動作値}] \times N \qquad (1)$$

$$\text{但し，} N = \begin{cases} n-1 & \text{命令間隔が3秒以上} \\ n & \text{命令間隔が3秒未満} \end{cases}$$

算出された動作量を状況情報とともにデータベースに書き込む．

・状況情報データベースの作成

操作者により命令が与えられると，状況情報を取得する．状況が類似している事例がある場合は，データベース上にあるすでに学習された動作量で動作する．無い場合は，各命令に割り当てられているデフォルト値で動作する．これらの動作が，操作者の思い通りでない場合は，繰り返し調整命令を出すことにより，動作を修正する．調整命令が出されなくなると，式 (1) により動作量を算出し状況情報とともにデータベースに蓄積する．図 1 に状況情報に対応した動作量のデータベース作成手順を示す．

‡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．

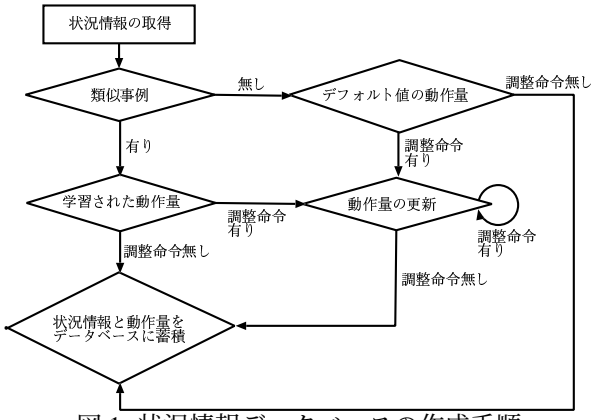

図 1: 状況情報データベースの作成手順

・学習結果の利用

基本命令が出された時，今，直面している状況における動作量を状況情報データベースを用いて決定する．すなわち，学習した結果を蓄えている状況情報データベースにアクセスし，今直面している状況とすでにデータベースに蓄えている状況が類似状況であるかどうか判断する．本実験では類似状況は次のようにして判定する．ロボットの持つ 8 個の各センサと壁までの距離の差 (今，直面している状況と参照しているデータベースの状況の差) が 2cm 以内のものが 5 個以上の時，類似状況であるとする．データベースに蓄えられている事例の中で，類似状況において同じ命令が出されたものがある場合は，基本命令が出された時にデータベースの中にある類似状況の時の動作量分ロボットを動作させる．データベースに類似状況がない場合は，あらかじめ基本命令に対して与えられているデフォルト値分動作させる．

3.2 「ちょっと戻して」,「ちょっと行き過ぎ」

「ちょっと戻して」は，単純な命令文である．それに対して「ちょっと行き過ぎ」は，それ自身は平叙文であるが，実際に発話を行う操作者の意図しているのは,「行き過ぎているから戻って欲しい」という間接発話行為である．

「ちょっと戻して」と命令した場合，基本命令により動かした角度が大きすぎたので戻す場合と，基本命令が出された後に進んだ距離が大きすぎて戻す場合の 2 通りが考えられる．そこで状況を考慮し，基本命令が出されて,「ちょっと戻して」命令が出されるまでの時間間隔が短い場合は角度を戻し，長い場合は基本命令が出された後に進んだ距離が長すぎると判断し後退させる．

「ちょっと行き過ぎ」は，間接発話行為である．意味していることは「ちょっと戻して」と同じであるが，操作者 (発話者) が使用する「言い廻し」の自由度を増すため命令文の「ちょっと戻して」と間接発話行為の「ちょっと行き過ぎ」の 2 つを用いることができるようにした．

「直進」命令の後に,「ちょっと戻して」や「ちょっと行き過ぎ」が出された場合は，進んだ距離が長すぎるので後退させることを意味していると解釈する．目標とする位置にロボットを誘導する際,「直進」→「ちょっと行き過ぎ」→「ちょっと戻して」→「ちょっと行き過ぎ」→…と命令を繰り返すと，デフォルト値を割り当てておくだけでは望んでいる点で止まらず振動する可能性がある．動かす距離を命令が出されるごとに $-n$ 乗することにより，振動することなく，操作者の望んでいる点に収束させることができると考えられる．具体的な解決策については考察で述べる．

4. 実験

実験用のロボットには，KheperaII[2] を用いた．本ロボットは，制御装置 (コンピュータ) の指示に従い自由な角度を取ることができ，4cm/秒 (本実験では固定) で走行する．また，ロボットの前後左右にある 8 つの赤外線センサにより外壁からの位置を検出する．実験は以下の 3 種類を行い，ロボットの走行軌跡を分析するために，実験状況をビデオカメラで撮影した．また，命令の入力は，各命令に割り当てられたキー操作により行う．本実験で求める実時間の音声認識に充分耐える性能が得られなかったからである．音声入力を行うことは，今後の課題である．

4.1 「ちょっと行き過ぎ」実験

直進している時と回転している時に出される間接発話行為「ちょっと行き過ぎ」に含まれる不明確性の (学習による) 解消の実験を中心に行う．

4.2 クランク型走行路実験 (I)

ロボットに命令を与えてクランク型走行路を最短で走破する (図 2) ことを目標にしたタスクを実行する．最初は，調整命令を含む多くの命令を出すことが必要となるが，学習によって，基本命令だけで図 2 の目標経路をたどり走破できるようになることが期待される．デフォルト値は「右に」は 80 度,「ちょっと右に」は 60 度,「ほんのちょっと右に」は 40 度 (左系も同様)，また調整命令である「ちょっと動かして」は 10 度,「ちょっと戻して」と「ちょっと行き過ぎ」は 10 度戻す又は 20mm 後退に設定した．

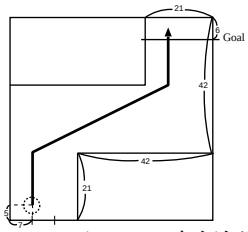

図 2: 目標とするロボットの走行経路 (単位: cm)

4.3 クランク型走行路実験 (II)

実験 2 と同じタスクを実行するが，デフォルト値を大きく設定する．すなわち「右に」で 120 度,「ちょっと右に」で 110 度,「ほんのちょっと右に」で 100 度 (左系も同様) に設定し，操作をより難しくした．

5. 実験結果及び考察

実験 4.1 は，直進や回転というロボットの最も基本的な動きに対して，命令の適切な解釈，すなわち不明確性の解消過程をロボットの行動で探った．常態で前に進んでいる時に,「ちょっと行き過ぎ」と (間接) 命令を受けた場合，どれだけ後退すれば良いかという不明確性を状況に応じて解釈する．ここでの「ちょっと行き過ぎ」という間接発話行為は，後ろに下がって欲しいということを意味しているのは明らかだが，どれだけの後退と解釈すれば良いのかは不明であり，これは状況に依存し，一義的に定めることができない．

本研究では，命令が発せられると，最初は，あらかじめ設定されたデフォルト値でロボットを動かし，その動きが適切でないと判断されると，調整命令によって修正が加えられる．この修正値は学習を通して，はじめの命令に対する適切な解釈が行われる．そのときの命令や状況情報を，状況情報データベースに蓄え，次に同じ状況において間接発話行為「ちょっと行き過ぎ」が出された時，修正された値を用いる．学習により状況に応じた基本命令と「ちょっと行き過ぎ」の適切な解釈が行なえるようになった．

「ちょっと行き過ぎ」→「ちょっと戻して」→「ちょっと行き過ぎ」→…と繰り返し命令が行われた場合，動作量を更新するが，操作者の望んでいる点に誘導することができず振動することがあった．そこで動かす距離を 2^{-n}(n は何回目に出されたかを表す) することにより，所望の点に誘導することができた．しかし，この方法で操作者の望んでいる点に誘導することができたのは，上記の命令を繰り返していただけであるが，操作者や状況によっては,「大きく動かして」といった命令が必要なことも考えられる．命令語数の拡張やそれに伴う新たな問題をどのように解決するかは今後の課題である．

回転を行った後に,「ちょっと行き過ぎ」と間接発話行為を受けた場合は，角度を戻すか，距離を戻すかをまず解釈しなければならない．その上で，距離または角度の適切な解釈が求められる．これも前と同様に状況情報との対応から学習と解釈を繰り返すことになる．その結果，次に同じ状況に直面したときには，直ちに「ちょっと行き過ぎ」の意味を適切に解釈できるようになった．例えば，センサ値が `4 0 16 12 0 0 4 12` の状況の時は 2cm 後退すると適切に解釈された．

本実験より間接発話行為である「ちょっと行き過ぎ」の不明確性が状況と過去の事例を参照する方法により解消される見通しが得られた．

実験 4.2 は,「調整命令」を出さずに「基本命令」だけでロボットを最短経路 (図 2) でゴールまで導く過程を分析し，命令 (言葉) の適切な解釈 (不明確性の解消) に至る経緯を明らかにする．このクランク型走行路実験では,「右に」と「左に」の命令を必ず使わなければならない．以下に 4 回の走行実験で適切な解釈がなされるようになり，5 回目では「調整命令」を出さずに，クランク型走行路を最短経路で走破することができた例を示す (図 3, 4, 5).

実験 4.3 は，実験 4.2 のデフォルト値を大きくすることにより，操作を難しくしたものである．5 回の学習後 6 回目では「調整命令」なしに最短経路を走破することができた例を示す (図 6, 7, 8). また，この実験における「右に」命令に対する動作角度として 65 度を獲得する過程を以下に示す．

- 1 回目
  センサ値が `60 40 32 4 36 52 4 4` で 120 度
- 2 回目
  センサ値が `68 36 32 0 36 52 12 4` で 50 度
- 3 回目
  センサ値が `44 16 44 24 8 36 28 32` で 57 度
- 4 回目
  センサ値が `48 32 44 20 8 40 28 32` で 57 度
- 5 回目
  センサ値が `48 8 40 24 16 32 32 16` で 65 度

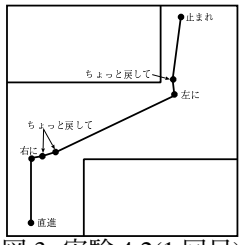

図 3: 実験 4.2(1 回目)

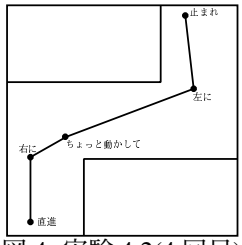

図 4: 実験 4.2(4 回目)

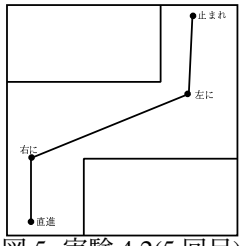

図 5: 実験 4.2(5 回目)

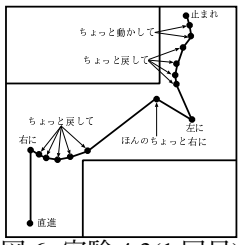

図 6: 実験 4.3(1 回目)

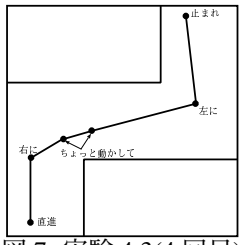

図 7: 実験 4.3(4 回目)

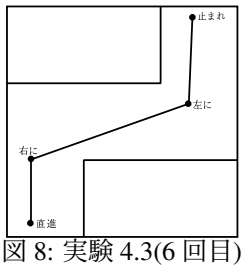

図 8: 実験 4.3(6 回目)

6. おわりに

本論文では，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，言葉の適切な意味を獲得する過程に着目し研究を進めた．具体的には，迷路を走行するロボットを用い，操作者の発する行動命令 (言葉) を，状況から適切に解釈 (適切な動作量の獲得) するための基礎実験である．ロボットに対する行動命令には，ロボットの行動に関する調整命令も含まれるが，調整命令にも不明確性の問題が含まれている点が特徴である．実験には位置情報を検出するセンサを具備した KheperaII を用い，行動命令 (言葉) が出される時間間隔に着目して命令に対する動作量をロボットが更新 (学習) する．位置や動作量をデータベースに蓄積し，次の命令が出された時，このデータベースから類似の状況を検索して動作量を決定する．学習を重ねると行動命令 (言葉) を正しく解釈し適切な動作を行うようになり，命令に対する不明確性は解消される．種々の実験を行い，行動命令 (言葉) に対する不明確性を解消して適切な解釈が行われることの見通しを得た．

参考文献

[1] Rosanna Keefe and Peter Smith, editors. *VAGUENESS: A READER*. The MIT Press, 1997.

[2] 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.

[3] 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.