

# ロボット走行における不明確性の解消

## —走行路の形状情報を用いた解消アルゴリズム—

山縣 京輔<sup>†</sup> 米村 俊一<sup>†</sup> 徳永 幸生<sup>†</sup> 杉山 精<sup>‡</sup>

芝浦工業大学<sup>†</sup> 東京工芸大学<sup>‡</sup>

### 1. はじめに

近年、ロボットが誘導案内を行うなど、人とロボットのコミュニケーションの重要性が高まっている。人とロボットのコミュニケーションでは、ロボットが我々の言葉を適切に解釈し、動作することが望まれる。協調型ロボットに指示を出す場面では、例えば「右へ」という指示をどの程度の物理的な動作量に変換すべきかは、ロボットの置かれた状況により異なり、またその動作量に幅がある。このような場面において、不明確性の解消は不可欠である。関連研究には、単純な走行路における事例<sup>[1]</sup>が報告されている。

これまでに我々は、人とロボットの協調動作をより実際の場面に適用することを目指し、不明確性の解消アルゴリズムを試作して検証を重ねてきた。その結果「右へ」、「左へ」、「前へ」の3種類の方向指示語が発出される状況では、指示者はロボットに、走行路の形状に応じたロボット走行を要求することを確認した<sup>[2]</sup>。ただしこのアルゴリズムには、不明確性の解消に多くの学習量を要するという課題がある。この知見を用いて本稿では、走行路の形状情報を取り入れた不明確性の解消アルゴリズムを構築し、その有効性を実験的に検証する。

### 2. 不明確性の解消アルゴリズム

#### 2.1 不明確性の解消戦略

本研究では「意図する動作をロボットが完遂した」と指示者が判断したときに、不明確性が解消されたと定義する。例えば人が「右へ」という不明確性を含む指示を受けた場合、被指示者はその時の周辺状況などの背景知識を用いて指示者の意図をくみとり、指示を具体的な動作量に変換する。不明確性の解消までに数回の試行が必要な場合や、動作途中で「右へ、右へ」

とさらに指示を受けることが考えられる。試行を通じて被指示者は、指示の内容とその時の状況を学習し、不明確性を解消できるようになる。

本研究ではこのような人の学習行動を、事例ベース推論型のアルゴリズムとしてロボットに搭載した。ロボットは周回を重ねるごとに、徐々に指示者の意図する動作量を獲得していく。

#### 2.2 想定するロボットと走行指示

コンピュータ制御によって走行する Khepera II (AAI社製ロボット) を想定したシミュレータを作成した。走行指示は、方向指示語である「右へ」、「左へ」、「前へ」の3種類と、停止するときに用いる「止まれ」を含めた計4種類とした。ロボットは人の命令がない限り直進しつづけ、動作状態を変化させない非自律型である。

アルゴリズム改良後のロボットには、現在走行している走行路の形状を認識する機能を付与した。走行路形状は「クランク」、「S字」、「カーブ」、「直線」、交差点などを表す「ニュートラル」の計5種類とした。ロボットの自動認識した形状が誤りである場合には、指示者が正しい走行路形状を伝えて誤りを訂正する。

#### 2.3 事例ベース推論機構

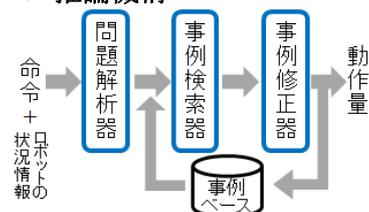


図1 事例ベース推論機構の構成

ある状況下で命令が入力されると、ロボットは図1の事例ベース推論機構により不明確性を解消して動作量を獲得し、回転動作を行う。また、動作後は事例ベースに今回の事例を蓄積し、指示者からの命令を待つ。1つの事例は、命令語、センサの実測値、前回の命令入力からの経過時間、ロボットが認識していた走行路形状、今回の命令の動作量の、計5要素の対応関係とした。

##### 2.3.1 問題解析器

命令を解析し、前回の命令入力からの経過時間が短いこと(条件1)、センサ値をもとに仮計算

Vagueness Solving in Robotic Manipulation-Solving Algorithm Using the Road Shape Information-

<sup>†</sup>Kyosuke YAMAGATA(ma12110@shibaura-it.ac.jp)

<sup>†</sup>Shunichi YONEMURA(yonemura@shibaura-it.ac.jp)

<sup>†</sup>Yukio TOKUNAGA(tokunaga@sic.shibaura-it.ac.jp)

<sup>‡</sup>Kiyoshi SUGIYAMA

<sup>†</sup>Shibaura Institute of Technology

<sup>‡</sup>Tokyo Polytechnic University

した動作量が小さいこと（条件 2）を確認する。条件のいずれかを満たすとき、命令には調整の意図があると判断する。動作量の仮計算は、現在のセンサの実測値  $W$ 、本体正面を 0 度としたセンサ角度  $V$ 、形状補正值  $K$  を用いて(1)式で行う。 $K$  の値が大きいほど動作量が小さくなり、ロボットの走行経路を意図する形状に整えやすくなる。

$$\text{動作量} = \frac{\sum_{i \in \text{センサ角度数}} W_i^2 V_i}{\sum_{i \in \text{センサ角度数}} W_i^2} * K \quad (1)$$

### 2.3.2 事例検索器

調整の意図がない命令について、類似事例を検索する。事例の類似度の計算は、センサ値をベクトルとして、現在のセンサの実測値  $s$ 、参照事例のセンサ値  $t$  を用いて(2)式により行う。類似度が閾値以上である事例を類似事例とする。

$$\text{類似度} (\cos\theta) = \frac{\vec{s} \cdot \vec{t}}{\|\vec{s}\| \|\vec{t}\|} \quad (2)$$

### 2.3.3 事例修正器

まず類似事例と判断した命令に対して調整の意図がある命令が出ている場合は、その命令の動作量に基づいて類似事例の動作量を修正する。次に類似事例が複数存在する場合は、それぞれの事例を統合して今回の命令の動作量とする。動作量の計算は、最新的事例への重みづけ係数  $W$ 、事例の動作量  $V$ 、形状補正值  $K'$  を用いて(3)式で行う。 $K'$  の値が大きいほど最新的事例に近い動作量となり、ロボットの走行経路と意図する走行経路とが成す面積を調整しやすくなる。

$$\text{動作量} = \frac{\sum_{i \in \text{類似事例数}} (W_i + K') * V_i}{\sum_{i \in \text{類似事例数}} (W_i + K')} \quad (3)$$

### 2.3.4 改良前後の推論機構のパラメータ

事例検索器について、改良前は事例全体を、改良後は同じ走行路形状の事例のみを対象に類似度を算出した。また問題解析器と事例修正器について、改良前は  $K=1$  と  $K'=0$  を、改良後は走行路の形状に応じて要求される走行が異なることを考慮し、走行路形状ごとに値を設定した。

## 3. 不明確性の解消実験

改良前と改良後のアルゴリズムを搭載したロボットを用いて走行実験を行った。まず改良前のロボットで走行実験を行い、結果をもとにアルゴリズムを改良し、再び走行実験を行った。

### 3.1 走行実験

走行実験ではロボットと被験者（指示者）が協調しあい、脱輪せずに走行路を走破することを旨とする。被験者は大学生 8 人を対象とした。実

験に用いた走行路と指定コースを図 2 左に示す。



図 2 指定コースと走行例(被験者 B 改良後)  
(左:指定コース 中央:走行計画 右:走行結果)

まず実験前に、図 2 中央のような計画ルート（走行経路および制御命令の発出予定箇所）を被験者に記してもらい、被験者には計画ルートを確認しながら、走行計画を立案したときのイメージ通りに滑らかな走行をするよう教示した。1 周走行するごとに「ロボットは命令に従い、計画立案時のイメージ通りに走行できたか」という質問について可否を問い「可」の回答が得られたときに実験を終了する。「可」の回答を得た走行においてロボットは指示者の意図した動作量を獲得しており、方向指示語の不明確性を解消している。ロボットの走行結果を図 2 右に、不明確性の解消に要した周回数を図 3 に示す。

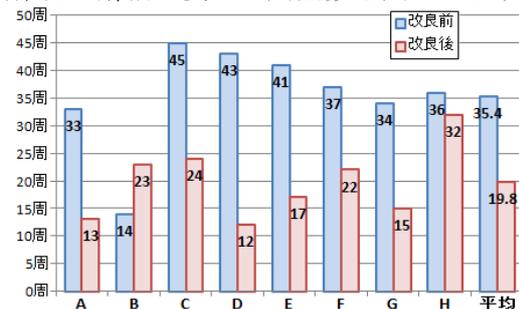


図 3 不明確性の解消に要した周回数

### 3.2 実験結果の考察

多くの被験者について解消に要した周回数が減少しており、より少ない学習量で不明確性を解消したことから、改良後のアルゴリズムの有効性が確認された。また、被験者 B から「改良前よりも後の方が意図通りに走行した」という意見があり、被験者によっては学習量が増加するが、より意図をくみ取れるという示唆を得た。

## 4. おわりに

本稿では、走行路の形状情報を取り入れた不明確性の解消アルゴリズムの構築と評価を行い、その有効性を確認した。今後は、異なる指定コースに対し本アルゴリズムがどの程度有効かなど、さらに本アルゴリズムの有効性を検証する。

### 参考文献

- [1] 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”, 人工知能学会研究会資料, SIG-SLUD-A303-1 (2003).
- [2] 山縣京輔, 米村俊一, 徳永幸生, 杉山精, “ロボット走行における不明確性の解消 —主観評価値に基づく齟齬の許容性の分析—”, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2012, 1413L, Sep. 2012.