

ロボット走行における不明確性の解消

—協調動作にみられる齟齬の許容特性—

山縣 京輔[†] 米村 俊一[‡] 徳永 幸生[†] 杉山 精^{†‡}

芝浦工業大学[†] NTTサイバーソリューション研究所[‡] 東京工芸大学^{†‡}

1. はじめに

近年、展示施設やイベントでロボットが人の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。人の指示どおりに動作する協調型ロボットに制御命令を出す場面では、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る。また、多くの場合、この状況に依存する動作量には幅がある。人とロボットの協調動作ではこの不明確性の解消が不可欠である。関連研究としては、単純な走行路における事例^[1]が報告されている。

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、ロボットのシミュレータによる走行実験を行い、不明確性の解消アルゴリズムについて検証を重ねてきた^[2]。本稿では、指示者の制御命令をロボットがどの程度の動作範囲で実行すれば、指示の不明確性が解消されたかと人が判断するのかわ、人とロボットの協調動作にみられる齟齬の許容性と定義し、これを不明確性の解消指標のひとつと位置付けた。さらに、人とロボットとの協調走行における齟齬の許容性について、評価パラメータの検討を行った。

2. 実際の走行路の走行実験

2.1 解消アルゴリズムと事例ベース推論機構

「指示者の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場合、不明確性が解消されたと考える。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

の時の状況を判断して指示者の意図をくみ取り、動作に変換する。状況により、不明確性を解消するまでに数回の試行が必要な場合や、指示者が動作途中でさらに「右へ、右へ」と指示することが考えられる。試行を繰り返した結果、被指示者は指示内容とその時の状況を学習し、不明確性を適切に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。ロボットの置かれた状況と動作量の対応関係を蓄積しておき、それ以降に類似した状況で指示を受けた場合に、蓄積された対応関係を参照し、不明確性を含む指示に対応する。

2.2 走行ロボット

コンピュータ制御によって走行する Khepera II (AAI社製)を想定したシミュレータを作成し、走行実験を行った。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動作状態を変化させない非自律型であり、指示者から命令が出されると、周囲の状況から適切な動作量を推論して動作する。

2.3 走行実験

ロボットが制御命令をどの程度の動作範囲で実行すれば、指示の不明確性が解消されたかと人が判断するのかわを実験的に検証するため、人とロボットが走行路を協調走行する実験を実施した。走行実験では、ロボットと被験者(指示者)が協調しながら、脱輪せずに走行路を走破することを目指す。走行路は図1左の指定コースを用いた。まず実験の前に、図1中央のように被験者が計画ルート(走行経路および制御命令の発出予定箇所)を走行路に記す。実験では図1右のように、システムが曲線補間を行ったルートを被験者に掲示した。被験者には、生成された走行ルートを確認しながら、走行計画のとおり滑らかに走行するように教示した。1周走行するごとに不明確性が解消されたかと判断するかの可否を被験者に質問し、「可」の回答が得ら

Vagueness Solving in Robotic Manipulation-Permissible Characteristics of the Inconsistency in Coordinated Motion-

[†]Kyosuke YAMAGATA(108126@shibaura-it.ac.jp)

[‡]Shunichi YONEMURA(yonemura.syunichi@lab.ntt.co.jp)

[†]Yukio TOKUNAGA(tokunaga@sic.shibaura-it.ac.jp)

^{†‡}Kiyoshi SUGIYAMA

[†]Shibaura Institute of Technology

[‡]Cyber Solutions Laboratories, NTT

^{†‡}Tokyo Polytechnic University

れるまで走行してもらった。解消までの周回数と解消時の走行例を図2に示す。



図1 走行路

(左:指定コース 中央:走行計画例 右:ルート例)

被験者A	21周
被験者B	25周
被験者C	43周
被験者D	64周
被験者E	42周



図2 走行実験の結果

(左:解消までの周回数 右:解消時の走行例)

3. 齟齬の許容性の分析

3.1 走行ルートの調査

各被験者の計画時と解消時の走行ルートと比較し、齟齬の許容性を分析した。本稿では、齟齬の許容性を構成するパラメータとして、走行ルートの制御命令の回数、計画時と解消時の走行経路の類似度、および空間的なずれを導入した。分析では、走行路を[a]クランク、[b]S字、[c]カーブ、[d]右折、[e]左折・ゴールと、各地点を結ぶ走行路の計9箇所(図3参照)に分類した場合の齟齬と、ルート全体に渡る齟齬を検討した。



図3 各走行ルートの集計範囲

3.2 制御命令数における齟齬の許容特性の分析

表1 計画時と解消時の命令数(単位:[回])

	被験者A		被験者B		被験者C		被験者D		被験者E	
	計画時	解消時	計画時	解消時	計画時	解消時	計画時	解消時	計画時	解消時
[a]クランク	3	3	3	3	3	4	4	4	5	4
a-b間	2	2	1	2	2	0	1	1	2	2
[b]S字	4	7	8	7	6	7	5	5	6	6
b-c間	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
[c]カーブ	3	3	4	3	4	4	3	3	3	3
c-d間	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
[d]右折	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2
d-e間	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0
[e]左折・ゴール	2	2	2	2	2	2	3	3	4	4
命令全体	16	22	20	21	19	19	20	20	26	23

計画時と解消時の走行ルートの制御命令数を表1に示す。命令数の齟齬の許容がみられた箇所を下線で記した。なお、被験者Cの地点[a]と[b]に関しては、a-b間の集計範囲の境界付近にも制御命令が出されていた。c-d間とd-e間の直線部分では、蛇行運転のような比較的小さな動作量の制御命令を許容する傾向がみられたこと

から、直線に進入する直前の制御命令に対する不明確性の解消精度が低いと考えられる。

3.3 走行経路における齟齬の許容特性の分析

計画時と解消時の走行経路間の類似度、および空間的なずれを分析するために、位相限定相関法^[3](以下POC)を用いて走行経路の比較を行い、走行経路にみられる齟齬を定量化した。

POCは画像マッチング手法のひとつで、分析対象の類似度と位置のずれを推定できる。ただし、位相限定相関において複数のピークが検出される場合に位置ずれを検出できないことがある。今回は、位相限定相関の上位5つのピークをもとに位置合わせを行い、その位置合わせを被験者に1つ選択してもらうことでこれを解決した。

走行経路間の類似度は、被験者が選択した位相限定相関のピークの値を用いた。空間的なずれは、走行経路間の距離と面積で表される。距離は、ピークより推定したxy座標のずれを、ユークリッド距離で計算した。面積は、位置ずれ補正前後の走行経路間の面積を測定した。

S字(図3[b])の走行軌跡の測定結果を表2に示す。他の箇所より軌跡類似度が低い傾向が全被験者にみられたことから、S字における制御命令の不明確性の解消精度が低いと考えられる。低い解消精度にも関わらず被験者が齟齬を許容した要因に、S字の走行難易度が他の箇所よりも高く、適切な指示が難しいことが示唆された。

表2 S字の走行経路の測定例(xy座標のずれ, 経路間面積の単位:[pixel])

S字	位相限定相関		位置ずれ推定		経路間面積			
	ピーク類似度	x y	x y	経路間距離	補正後	補正前	面積増減	
被験者A	1	0.05577	12	16	20.00	3743	2132	+1611
被験者B	1	0.05488	14	3	14.32	4845	1709	+3136
被験者C	1	0.05586	5	11	12.08	2516	622	+1894
被験者D	1	0.10908	1	0	1.00	1826	1650	+176
被験者E	1	0.10536	11	5	12.08	4490	2057	+2433

4. おわりに

本稿では、協調動作にみられる齟齬の許容性を不明確性の解消指標のひとつと位置付け、人とロボットが走行路を協調走行する実験を実施して評価パラメータを検討し、不明確性の解消アルゴリズムの解消精度を評価した。

今後は、不明確性の解消過程にみられる齟齬の許容性を分析し、より効率的に指示の不明確性を解消するアルゴリズムを検討する。

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] 本間輝, 米村俊一, 徳永幸生, 杉山清, “対話的操作によるロボット走行における不明確性の解消 -自動車教習所のコースを想定した場合-”, 情報処理学会 第73回全国大会, 6R-5, Mar. 2011.
- [3] 小林孝次, 中島寛, 青木孝文, 川又政征, 樋口龍雄, “位相限定相関法の原理とその応用”, テレビジョン学会技術報告, Vol20, No.41, pp.1-6, 1996.