言語指示の解釈と行動改善に関する一提案

学生員 長谷川 貴 史 (名古屋大学)

学生員 藤 井 誠 (名古屋大学)

正 員 古 橋 武 (名古屋大学)

正 員 内 川 嘉 樹 (名古屋大学)

A Proposal on Understanding of Linguistic Instructions and Behavior Improvement

Takashi Hasegawa, Student-member, Makoto Fujii, Student-member, Takeshi Furuhashi, Member, Yoshiki Uchikawa, Member (Nagoya University)

It is easy for humans to communicate with each other using natural language. If a system was capable of understanding linguistic instructions given by human operators, the system will be easy to use in a complex environment. However linguistic instructions are usually vague and their meanings depends on the circumstances. There are gaps between the linguistic expressions and the desired behavior of the system in many cases.

This paper presents a new system for behavior improvement through understanding of linguistic instructions using a fuzzy classifier system. The proposed method can autonomously acquire the meanings of instructions. Simulations are done to demonstrate the capability of the proposed method.

キーワード：ファジィクラシファイアシステム, 言語指示, 知識獲得

1. はじめに

自然言語は人間にとって最も有効なコミュニケーション手段の一つであり、システムが自然言語を理解できれば、人間とシステムは柔軟なコミュニケーションをすることが可能となる。例えば、システムが人間の言語指示を理解可能であれば、人間にとって利用しやすいシステムを構築することができる。しかし、人間の言語指示は、本質的にあいまいさを伴うものであり、同じ言語指示に対して動作を一意に定めることは困難であることがある。これは、人間の言語指示がその時々状況に応じて様々な意味を持つためである。そこで、状況に応じて自律的に言語指示を解釈できるシステムが望まれる。

言語の持つあいまいさを取り扱う手法としてファジィ推論があり、ファジィ推論を用いた学習インターフェースに関する研究が行なわれている^{(1)~(4)}。宮本ら⁽¹⁾は、定性言語モデルを用いた言語指示学習法を化学反応プロセスのファジィ制御に適用している。この手法により、オペレータの意図に合った制御規則の調整が可能となり、過去の指示内容を組み合わせることにより指示回数の40%削減を可能としている。菅野ら⁽²⁾は、人間の言語指示をすでに獲得した知識や言語と結びつけることにより、マクロで含蓄的な言語指示から新たな知識を獲得する学習法FULLINSを提案してい

る。応用例として、トレーラトラックシステムと知的ゲームの五目並べに適用して有効性を示した。これらの手法は、自然言語を用いて容易にシステムとのコミュニケーションをとることが可能であるが、言語指示の意味付けに人間の評価を必要とする。

これに対して、ファジィクラシファイアシステムによる知識発見手法が提案されている。古橋ら⁽³⁾は、ファジィクラシファイアシステムの知識発見能力について考察し、報酬と信頼度割り当て手法の提案を行なっている。また、中岡ら⁽⁴⁾は、ファジィクラシファイアシステムを多入力システムに適用した場合について、有効なメンバーシップ関数の数に応じた報酬と信頼度割り当て手法を提案している。この手法は、遺伝的アルゴリズムの特徴である交叉を有効に活用し、多入力変数を扱う場合に重要な前件部適合度を持つルールの発見を効果的に行なうことを可能とする。

本論文では、以上の従来研究に対して、人間のあいまいな言語指示を、システム自身が指示の与えられた状況から自律的に解釈し、適切な行動を発見するシステムの提案を行なう。本手法によれば、従来人間が介入することができなかったシステム⁽³⁾⁽⁴⁾に対して、人間の指示に基づいて行動を改善することが可能となる。ロボットの衝突回避問題に本手法を適用し、同じ言語指示でありながら状況に応じ

て異なる行動が自律的に発見されることを示す。そして、獲得した知識をファジィ表現されることによる汎化性の検証を行なう。

本研究では、人間の指示に対してシステムが状況に応じた意味を自ら獲得し、人間とシステムの言語を通じたコミュニケーションの実現を目指している。

2. 提案システム

図1 提案システム
Fig. 1. Proposed system

本システムはファジィクラシファイアシステムを基本システムとして構築される。図1に、提案するシステムの概略を示す。ファジィクラシファイアシステムはファジィルールベース、ファジィ推論システム、信頼度割り当てシステム、及びルール生成機構からなる⁽³⁾⁽⁴⁾。本システムでは、ファジィルールベースを基本行動ルールベースとし、新たに言語指示ルールベースと指示状況データベースが設けられている。

- 1. 基本行動ルールベース:
基本的な行動を行なうためのファジィルールベース。
- 2. 指示状況データベース:
人間の指示と指示の与えられた状況を記憶するためのデータベース。
- 3. 言語指示解釈ルールベース:
言語指示を解釈し、指示と行動を対応づけるファジィルールベース。

本システムの行動ルール発見は2段階でなされる。最初は基本行動ルールの発見である。システムは環境に対する基本的な知識をファジィクラシファイアシステムにより獲得する。しかし、基本行動ルール発見のシステムだけでは所定の目的を達成するに十分な行動ルールを発見することが困難な場合がある。そこで、行動ルール発見の第2段階とし

図2 指示状況データと言語指示解釈ルールの生成
Fig. 2. Generation of data of circumstances and rules to understand linguistic instructions.

て、人間の介入により行動ルールの改善を行なう。その際には、システムは人間の出す指示に応じて指示状況データと言語指示解釈の初期ルール群を生成する。そして、言語指示解釈ルールをルール生成機構により発見的に改善する。

指示状況データは図2に示すように前件部に指示の出された状況、後件部に言語指示を表す記号を持ち、指示が出されるごとに、その時の最も適合度の高いメンバーシップ関数のラベルを用いて生成され、指示状況データベースに蓄えられる。言語指示解釈ルールは前件部に言語指示、後件部にその言語指示に対応する行動を持つ。ファジィ推論システムでは、まず指示状況データの前件部適合度を求める。この適合度は、言語指示を行なった状況との一致度となる。次に、この適合度を、そのまま、対応する言語指示を前件部に持つ言語指示解釈ルールの前件部適合度とする。基本行動ルールと言語指示解釈ルールの出力に対してその重心を取ることで、システムの出力を得る。

推論の結果、失敗した場合には、ルール生成機構により新たな言語指示解釈ルールの候補が生成される。これにより、システムは人間の言語指示を行動と対応づけることができる。

以上の構成により、本システムは人間を環境の一部とした系に対して、適切な行動をとることが可能となる。

3. シミュレーション

<3-1> 問題設定

本論文で提案したシステムをロボットの衝突回避問題に適用する。ここでは、自機は1体の他機との衝突を回避しながらゴールに入ることを目的とする。図3に自機と他機、ゴールの位置関係及び各パラメータを示す。自機と他機のスピードはそれぞれ、 $|V|$ 、 $|V_0|$ で一定とし、他機は直進動作のみとする。自機と他機との直線距離を D 、自機と他機を結ぶ直線と、自機の進行方向とのなす角を δ 、自機とゴールを結ぶ直線と、自機の進行方向とのなす角を θ とする。 V_R

図3 シミュレーションパラメータ
Fig. 3. Simulation parameters

は自機から見た他機の相対速度で、自機と他機を結ぶ直線と V_R とのなす角を ϕ とする。また、自機の旋回角速度を ω とする。図4にシミュレーション環境を示す。自機は左の壁から出発して右のゴールを目指し、他機は画面の上から下を横切る。ここで成功とは、自機が衝突回避を行ないながらゴールに到達することである。失敗は、自機が他機と衝突する、自機が指定された範囲の外に出る、もしくは自機の進行方向とゴールとの相対角度 θ の絶対値が90度以上になることである。自機と他機の位置関係を5通りとし、自機が操舵を行わず直進した場合に必ず他機と衝突する位置を初期位置とした。それぞれの場合ごとに成功、失敗の判定を行ない、5通りのシミュレーションが終わった後にルールの更新を行う。

図4 シミュレーション環境
Fig. 4. Simulation environment

<3.2> 衝突回避

本研究では、基本行動ルールはファジィクラシファイアシステムにより獲得される。

(a) ケース 1

(b) ケース 2

(c) ケース 3

(d) ケース 4

(e) ケース 5

図5 基本ルールによる行動
Fig. 5. Actions by basic rules

用いたルールは基本行動ルールは、例えば、

If D is PB, ϕ is NS, δ is ZO, θ is PB, ω is PS
then $\Delta\omega$ is ZO (1)

と記述される。入力として他機との相対距離 D 、相対速度角 ϕ 、他機との相対角度 δ 、ゴールとの相対角度 θ 、自機の旋回角速度 ω を用い、出力は旋回角速度 ω の修正分 $\Delta\omega$ を用いた。入出力変数には、Negative Big(NB), Negative Small(NS), Zero(ZO), Positive Small(PS), Positive Big(PB) の5つのラベルを持つメンバーシップ関数を用いた。

はじめに100個のルールをランダムに生成し、自機を操舵した。ゴールへ到達すればシステムは正の報酬を、到達できなかったら負の報酬を環境から受けとり、その報酬に基づいて基本行動ルール群に遺伝的演算を施す。この操作を繰り返すことにより、基本的な操舵に必要な100個の基本行動ルール群を生成した。基本行動ルールを100個としたのは、文献(3)(4)の結果より、自機を操舵してゴールへ入れるためには最低100ルールは必要となることを考慮したためである。

図5は、ファジィクラシファイアシステムにより獲得された基本行動ルールによる操舵結果を示す。ファジィクラシファイアシステムは5通りの試行のうち、3つのケースでロボットをゴールに入れるルールを生成できたが、ケース1, 2では生成するのにさらに多くの試行を必要とした。そこで、ゴールへ入れなかったケース1, 2に対して、自機をゴールに向かわせるための言語指示を与えることとした。

ここで人間がシステムに与える言語指示は、キーボードのいずれかのキーとした。人間は、例えば、“そこを右”や“危ない!”などの言葉を伴って指示を与えるが、システムは元より指示が与えられた時の状況とキーボード入力しか判らない。システムは言語指示を受けると、指示を受けた時の状況を前件部に、与えられた言語指示を後件部を持つ、指示状況ルールを作成する。同時に、与えられた言語指示を前件部に、その言語指示に対する出力を後件部を持つ言語指示解釈ルールも作成する。

はじめに、言語指示を与える人間はシステムを画面の真上から見ている設定とし、図5(b) ケース2に対して図中の↑印の位置で“右”の指示を与えた。この段階では、システムはまだ“右”の意味を理解していない。

言語指示を行なうことにより行動の修正は行なわれたが、舵を大きく切りすぎて何度も失敗した。この状態では、ゴールに到達することは困難であると、観測している人間が判断した。そこで舵を切った後、さらに逆方向に切り返すことにより、滑らかに方向を変化させることにし、第15世代目で“舵を切り返せ”という指示を与えた(図6中の←印)。その結果、第22世代目にゴールへ到達した(図7)。

図6 言語指示“右”後の行動(ケース2、第15世代)

Fig. 6. Actions after the linguistic instruction “right” was given (Case2, 15th generation)

図7 “右”、“舵を切り返せ”後の行動(ケース2、第22世代)

Fig. 7. Actions after “right”, “steer to the opposite” were given (Case2, 22th generation)

この時に獲得された知識は以下の様であった。

指示状況データベース

- If D is PS, ϕ is PB, δ is NB, θ is NS, ω is ZO
then 言語指示 is “右” (2-A)
- If D is PS, ϕ is PB, δ is NS, θ is ZO, ω is PS
then 言語指示 is “舵を切り返せ” (2-B)

言語指示解釈ルールベース

- If 言語指示 is “右” then $\Delta\omega$ is NS
If 言語指示 is “右” then $\Delta\omega$ is PB
- If 言語指示 is “舵を切り返せ” then $\Delta\omega$ is NB
If 言語指示 is “舵を切り返せ” then $\Delta\omega$ is PS

本シミュレーションでは、言語指示解釈ルールは1つの言語指示に対して2つのルールを対応させることとした。そして、シミュレーションが失敗した場合に乱数によりいずれかのルールの後件部のラベルを書き換えることでルール生成を行なった。学習の結果、“右”の指示に対して旋回角速度の修正部 $\Delta\omega$ が NS と PB の中間、“舵を切り返せ”の指示に対して $\Delta\omega$ が NB と PS の中間をとるルールが得られた。

次に、図5(a)のケース1に対して図中の↑印の位置で“右”の言語指示を与えた。この時システムは、ケース2において指示された“右”及び“舵を切り返せ”の意味は獲得してい

図8 “右”後の行動(ケース1、第7世代)

Fig. 8. Actions after “right” was given(Case1, 7th generation)

る。その結果第7世代目でゴールへ到達した(図8)。この時に獲得された知識は以下の様であった。

指示状況データベース

- If D is NB, ϕ is ZO, δ is ZO, θ is PS, ω is ZO
then 言語指示 is “右” (3-A)

言語指示解釈ルールベース

- If 言語指示 is “右” then $\Delta\omega$ is NB
If 言語指示 is “右” then $\Delta\omega$ is NS

ここで生成された“右”を解釈する言語指示解釈ルールは、ケース2における言語指示で生成された“右”を解釈する言語指示解釈ルールとは異なり、それぞれの状況に対応して使用される。同じ言語指示でも期待される動作は異なっていたことが判る。

図8から判ることは、ゴール手前で舵の切り返しを行ない、ゴールへ向かう行動がとられている。これはケース2における言語指示で“舵を切り返せ”と指示した状況に、ゴール手前の状況が合致し、舵を切り返すルールが発火したためである。このことはシステムが以前の学習の結果、ゴール付近で右へそれる場合には舵を切り返すという知識を獲得していることを示している。

図9は、ケース1の第7世代目のルールから、ケース2で獲得した舵を切り返すルールを削除した場合の行動である。この場合は、ゴール到達に失敗している。ケース2のルールが有効に働いていたことが分かる。システムが状況を考慮に入れて言語指示を解釈することにより、獲得された知識を有効に使用することが可能となる。

<3.3> 獲得された知識についての考察

本手法を用いて獲得された知識は、ファジィルールで表現されている。言語指示を行なった時の状況が、その時刻における最大適合度を持つメンバーシップ関数のラベルで表現されることにより、他の状況においても、発火したルールの適合度で、状況の一致度合いを表すことができ、状況に応じた、適切な行動を取ることが可能となる。

人間は状況を考慮して言語指示を行なうが、状況の捉え方は人によって異なり、また、どのような意味を込めて言

図9 舵を切り返すルールが存在しない場合(ケース1)

Fig. 9. Actions without the rules of reverse steering(Case1)

語指示を与えたかは指示を与えた人により異なる。そのため、システムが適切に言語指示の解釈を行なうためには、人間の指示の基準を探索しなければならない。本手法によれば、同じ言語指示でも期待される行動が異なるような場合でも、システムが自律的に適切な行動を発見することができる。

上記の検証例として、図8のケース1のゴール手前の状況において、ケース2の“舵を切り返す”ルールが有効に働いたことを示した。では、ケース3, 4, 5ではどうであろうか。図10は、図8のケース1の第7世代までに獲得されたルールを用いて、ケース3, 4, 5の初期条件からシミュレーションを行なった結果である。ケース3ではゴール直前で舵を切り返すルールが発火したが、操舵における寄与はわずかであった。これは、自機がほぼゴールの中央へ向かっているため、状況の一致する度合いが低かったためである。ケース4, 5においては、舵を切り返すルールは発火しなかった。これは、ケース4では他機が自機の付近に存在したため、システムは異なる状況であると判断し、舵を切り返すルールを適用しなかったためである。ケース5では、他機が自機と接近しており、さらに自機がゴール付近で上へそれる状況であったため、完全に状況が異なる。この場合も、システムは異なる状況であると判断し、舵を切り返すルールを適用していないことが図10の(c)より分かる。本システムは人間の言語指示をひとつの記号として認識し、目標(本シミュレーションではゴールへ到達すること)を達成できたかどうかのみを基に、記号の解釈を行う。それゆえ、本システムは人間のあいまいな表現を理解できる反面、同じ内容を言葉(記号)を変えて表現すると別な内容と解釈してしまう。ここに本システムの限界がある。

(a) ケース 3

(b) ケース 4

(c) ケース 5

図 10 獲得されたルールによる行動
Fig. 10. Actions by acquired rules

4. まとめ

本稿は、人間がシステムに対してあいまいな言語指示を行なった場合、システム自身が指示の与えられた状況を判断し、その状況に応じて適切な行動を自律的に発見できるシステムの提案を行った。これにより、従来人間の介入が難しかったシステムに対して、人間を環境の一部とみなし、環境とのインタラクションを通して知識を発見するシステムの構築が可能となる。また同じ言葉でありながら、システムにとっては異なる行動をとらなければならないような、あいまいな指示内容に対しても、状況に応じて適切に解釈することができるため、人間とシステムとの言語を通じたコミュニケーションの実現を容易にすると期待される。

(平成 8 年 11 月 25 日受付)

本研究の一部は、財団法人堀情報科学振興財団の研究助成により遂行された。ここに深く感謝の意を表する。

文 献

- (1) 宮本、伊藤、後藤、菅野：“言語指示による制御規則調整方法”、第 11 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集 pp.779-780(1995)
- (2) 菅野、朴：“ファジィ理論を用いた言語指示による学習”、日本ファジィ学会誌 Vol.4, No.6, pp.1164-1181(1992)
- (3) 古橋、中岡、森川、前田、内川：“ファジィクラシファイアシステムによる知識発見に関する一考察”、日本ファジィ学会誌 Vol.7, No.4, pp.839-848(1995)
- (4) 中岡、古橋、内川、前田：“ファジィクラシファイアシステムの報酬と信頼度割り当てに関する一提案”、日本ファジィ学会誌 Vol.8, No.1, pp.65-72(1996)

長谷川 貴史

(学生員) 平成 8 年 9 月名古屋大学大学院工学研究科博士後期課程修了。現在、日本学術振興会特別研究員。工学博士。ファジィニューラルネットワークのファジィモデリングと制御への応用に関する研究に従事。

藤 井 誠

(学生員) 平成 8 年 3 月名古屋大学工学部電子情報学科卒業。現在、同大学大学院博士前期課程在学中。ファジィクラシファイアシステムを用いた知識獲得に関する研究に従事。

古 橋 武

(正員) 昭和 60 年 3 月名古屋大学大学院博士課程修了。平成 2 年 12 月より名古屋大学工学部助教授。工学博士。平成 6 年日本ファジィ学会論文賞受賞。主として、複雑システム、ソフトウェアコンピューティングに関する研究に従事。

内 川 嘉 樹

(正員) 昭和 44 年名古屋大学大学院博士課程満了。昭和 60 年より名古屋大学工学部教授。工学博士。ニューラルネットワーク、ファジィ理論、遺伝的アルゴリズム、自律分散システム、バーチャルリアリティ、電子計数法などを利用したシステム技術の基礎及び産業への応用に関する研究に従事。