

研究種目：基盤研究(C)
 研究期間： 2007～2009
 課題番号： 19500187
 研究課題名（和文） 多次元上のファジィ集合による多変数システム制御
 研究課題名（英文） Multidimensional fuzzy control system for complex systems
 研究代表者
 西野順二（NISHINO JUNJI）
 電気通信大学・電気通信学部・助教
 研究者番号：00281030

研究成果の概要（和文）： 複雑な多変数システムの状態を、人が認識しているような大局的であいまいなことばにより表現するシステム制御を実現した。あいまいな表現のために多次元ファジィ集合を適用し、計算処理を行うシステムを開発した。多次元のデータをサンプルし自動拡張することでファジィ集合の編集を行うシステムを開発した。対象として22次元のヒューマノイドロボット実機及びシミュレーションサッカーを題材にした行動制御を行った。

研究成果の概要（英文）： Human-like system description has macroscopic expression ability to analyze and control multi dimensional complex systems. Multi dimensional fuzzy sets and calculation algorithms to handle the sets on computers. Edit system for multi dimensional fuzzy sets were developed. Experimental results show that multi dimensional fuzzy control can handle 22 parameters humanoid robots on robotic soccer well.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野： システム工学

科研費の分科・細目： 情報学、感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード： ファジィ理論、ソフトコンピューティング、システム工学、知能ロボティクス

1. 研究開始当初の背景

(1) 申請者が開発してきた多次元ファジィ集合表現の応用として、表現力を高めた多変数複雑システムのファジィ制御を実現することが本原理の発展に必要であった。この多次元のファジィ集合は、多次元空間上で自由な形状を持ち、知識や感性に含まれ

る曖昧さをより正確に表現することのできる他に類を見ない斬新な技術である。

(2) いっぽう計算機や機械システムの高度化に伴い、システム設計・制御における変数の数は増大している。ヒューマノイドロボットはその典型であり、近年盛んに研究

されている。しかしながらあまりに多変数であるためその制御も複雑化しており、見通しの良い手法が求められていた。

2. 研究の目的

(1) 本研究で解決する課題は、複雑な多変数システムの制御においても見通しの良い知的制御を実現することである。多次元空間におけるファジィ集合を利用することで実現することを目的とした。

(2) ファジィ理論は、人間の直観を反映したシステムを、ファジィ集合を介して実現する手法として広く応用されている。とくにファジィ制御は「室温が熱ければ→風量を増やす」という、直観的な規則による分かりやすい制御法として、さまざまな場面で使われている。しかし、従来手法の限界の一つは、システムで使用される「熱い」などの直観的表現がすべて1次元軸上のものに限られてきたことにある。たとえば(温度, 湿度) からなる2次元状態空間上での条件判断を直接行うことができなかった。

本研究では、これを多次元ファジィ集合で直接表現することで、より簡便かつ正確、直接に計算機で扱えるようにする。

(3) 1次元上のファジィ集合の直積によってN次元の任意の状態領域を表現するつぎの問題点を解消する。

問題1) 1つの多次元ファジィ部分領域のためにN個の1次元ファジィ集合が必要である。

問題2) 長方形を重ね合わせるため、きめ細かい表現をするには多数の組み合わせが必要である。これをM個とすれば1次元ファジィ集合が $N \times M$ 個必要となる。

問題3) どのように重ね合わせても、明らかな表現誤差が必ず残る。

(4) また多次元空間上のファジィ集合を用いるつぎの課題に対処する。

課題1) 空間が広く形状が複雑になるため1次元に比べ計算量が多い。

課題2) そもそも任意形状領域の表現方法が確立していない。

課題3) 3次元以上のファジィ部分集合を可視化し表現する手法が無い。

課題4) 任意の問題に対するファジィ集合の構築手法が確立していない。

これらに対処するためライブラリプロトタイプとして構築済の演算の高度化をはかる。本研究では、多次元ファジィ集合の応用を積極的に展開することを目標とする。これらが実現することで、扱いの困難な多変数システムに対する柔軟な制御法となり、ファジィのこれまでのユーザビリティとあいまって、社会にあたえるインパクトは非常に大きい。

(5) 典型的な多変数複雑システムであるヒューマノイドロボットのモーションコントロールは、関節角度からなる多次元の作業空間上での問題であり、遊びを含む姿勢状態は提案する多次元ファジィで扱う良い例である。実空間で線形な条件も、ロボットの幾何的な非線形拘束のため、作業空間では非線形な状態分割や判断が必要である。これらを解決するには個々の条件についての非線形逆関数が必要となり、一般には扱いづらい問題となる。これは多次元ファジィによる表現を用いることで直感的な記述を可能とする。具体的な実現システムとして、ロボットモーションをユーザが自在に作成できるシステムの構築を目指す。

3. 研究の方法

(1) 本研究の目的である多次元ファジィ集合表現の応用として、表現力を高めた多変数複雑システムのファジィ制御を実現し、ヒューマノイドロボットのモーションコントロールに応用することでその有用性を示すため、以下のように3年計画で研究を遂行した。

(2) 平成19年度は応用対象となるロボット機体の準備を主として行いつつ、3次元以上のファジィ集合を扱うためのシステムを構築する。機体状態と任意の多次元ファジィ集合の帰属度との対応を実体可視化するシステムの構築と評価までをおこなう。

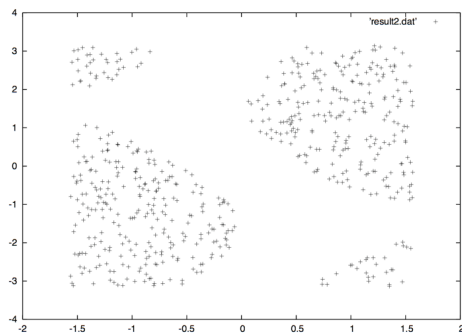
(3) 平成20年度は実際のモーション作成に必要な具体的なファジィ集合の作成、記述システムの構築を進める。

(4) 平成21年度はユーザによる使用評価をもとにして、システムのさらなる改良を進め、多次元ファジィ集合の効用についてまとめ公表する。

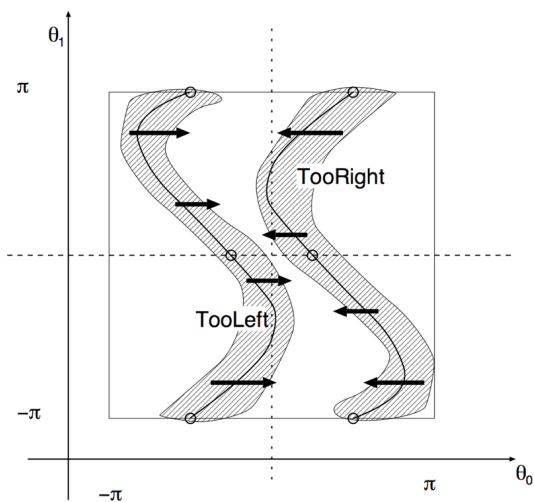
4. 研究成果

(1) 環境整備と基礎実験

- ① 実機ヒューマノイドロボット実験システムの開発を行い、GR-001型ロボットとUSB通信システム、ビデオ計測、加速度計による状態計測準備を行った。ブレーキモードを用いてユーザが指定した自由姿勢角度の多変数読み込みを可能とした。
- ② ロボカップシミュレーションリーグ3D部門公式システムのバーチャルヒューマノイド18自由度モデルを用いて多変数システムの制御手法の検討を行った。関節数を2ないし3としたモデルにおいて、重心の



静的安定性を保持しながら姿勢の変更を行う制御実験を行った。複数の回転関節からなるロボットの重心移動による転倒の境界条件は非線形な逆関数で与えられる。この境界を多次元ファジィ集合で直接的に表現することで見通しの良い知識による制御ができた。



これらの結果を、インテリジェントシステムシンポジウム、人工知能学会研究会、及びロボカップ秋キャンプポスターにて発

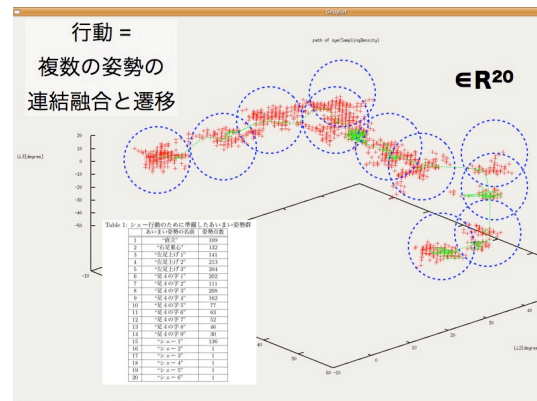
表した。また、本手法を用いて出場したロボカップジャパンオープンで準優勝した。

- ③ ファジィ演算ライブラリの調整を行い、機能検証のために一次遅れ系のファジィ制御実験を行った。制御位相平面上で座標軸と直行しない2次元のあいまいな部分領域を多次元ファジィ集合で表現し、3つのファジィ制御規則で、9つの従来型ファジィ制御規則と同等の性能を確かめた。規則数削減の効果による見通しの良い知識の有用性についてファジィシステムシンポジウムで発表した。

(2) あいまい状態の獲得と表現

- ① 環境整備と基礎実験の成果であるヒューマノイドロボットシステムの姿勢制御を主たる対象として、そこにかかわる曖昧な状態表現を実際に多次元ファジィ集合で記述した。人の知識にもとづいて100程度の概念表現を取得できるGUIシステムを構築した。ロボカップサッカーシミュレーション3Dサーバと連動して姿勢の安定性を確認しつつ姿勢の拡張探索を行うことでユーザの直感に合わせた多次元ファジィ集合表現を可能とした。

記述されたファジィ集合による実制御の効果について、あいまいな姿勢による状態空間の経路探索を行うことで基礎的なロボットの姿勢制御および行動制御できることを明らかにした。実験により本手法の有効性を検証し、あいまいな姿勢の知識にもとづく制御を実現した。途中結果についてはインテリジェントシステムシンポジウムで発表し、全体について人工知能学会研究会で発表した。

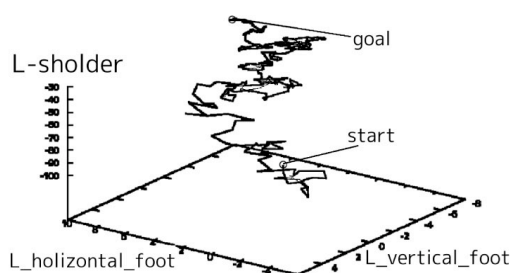


- ② また、多次元ファジィ集合の基礎的な考察と応用について日本知能情報ファジィ学会誌に論文を掲載した。さらに、本研究にもとづくサッカーロボット構築により、ロ

ロボカップジャパンオープン人工知能学会賞を受賞した。

(3) 展開とまとめ

① モーション制御の基礎となる姿勢状態のファジィ集合データの拡充をロボカップ3Dシミュレータにより行い、20年度に実現した基礎的な静的動作より複雑で高度な歩行実験を行った。ファジィ集合表現獲得システムの改良として以下の開発および実験を実施し、実機教示から姿勢情報を獲得するシステムを改良した。ロボカップ3Dシミュレータを用いて集合獲得するシステムに改良を施しOSC (Observation based States Creator)を構築した。22次元のファジィ集合をロボットをもちいてユーザーに提示するシステムをOSCの機能として実装した。獲得した集合をもちいたなめらかな歩行行動の制御実験を行った。



② ヒューマノイド姿勢の多次元ファジィ集合表現の拡大と処理の高速化として以下の研究を行った。姿勢獲得エディタを用い、人の知識から姿勢の概念表現語を収集した。対象のもつ幾何構造を保存するファジィ集合生成アルゴリズムを提案し実装および検証した。

演算の高速化を目指しGPGPUによる処理を設計した。

以上の成果により22次元を持つヒューマノイドロボットにおいて獲得した「直立」や「片足立ち」など行動制御に必要な知識をもちい、数理的なモデルによらないあいまいで柔軟な歩行行動が実現した。この結果は、ヒューマノイドロボットに限らず多変数システムの制御において有効であると言える。本成果は、4編の論文として、人工知能学会、ファジィ学会、情報処理学会で発表を行った。

(4) 今後の課題と展望

本研究によって、多次元上のファジィ集合によって複雑なシステムの表現をシンプルに行い、高度な制御に利用できることが明らかになった。いっぽう、柔軟性とのトレードオフとしてその計算量は多く計算時間の負荷は避けられない。

本手法は、ファジィ集合とその扱いの性質上並列計算による高速化が有望と考えられる。今後は、GPGPUなど安価で高速な並列計算のできるシステムなどを用いて、実応用における十分なスピードを確保する技術開発が必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

① 西野順二、このへんファジィとそのあたり、日本知能情報ファジィ学会誌、査読有、Vol. 20、No. 5、2008、pp. 776-784

[学会発表] (計11件)

① 西野順二、田中健次郎、清水智行、糟谷朋広、ヒューマノイドのあいまい姿勢にもとづく行動エディタと制御、第29回人工知能学会AIチャレンジ研究会、SIG-Challenge-A901-5、pp. 24--27、2009年5月4日、大阪

② 西野順二、久保長徳、このへんファジィによるバーチャルヒューマノイドの歩行、第18回インテリジェントシステムシンポジウム講演論文集、D7-6、pp. 592--592、2008年10月24日、広島

③ 西野順二、このへんファジィ制御、第23回ファジィシステムシンポジウム講演論文集、pp. 98--101、2007年8月29日、名古屋

[その他]

2008年度ロボカップジャパンオープンJSAI賞受賞

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西野 順二 (NISHINO JUNJI)

電気通信学部・電気通信学部・助教

研究者番号： 00281030