

A3-4 ファジィ推論を用いた契約ネットプロトコルに基づく 協調行動制御に関する研究

福井大学大学院 工学研究科 知能システム工学専攻 進化ロボット研究室

藤田 陽平 (指導教官：前田 陽一郎)

1 緒 言

近年、システムの大規模化、複雑化が進む中、従来の集中管理型システムに代わり自律分散型システムが注目を集め、盛んに研究が行われている。特にエージェント間の協調行動による複雑な環境や多様な目的に適應および学習する機能は、自律分散型システムにおいて不可欠な能力である。その中でもエージェント間の通信によって協調行動を実現させる手法が多く提案されている [1-3]。

一般にエージェント相互の通信による状態等のやり取りにより協調行動を実現し、システム全体としての効率を上げることができる。契約ネット [4] では発生したタスクに応じてその都度そのタスクを割当てるのに適切なエージェントにタスクが渡されるため、多様な目的に適應した協調行動を行うことが可能である。しかしながら、従来の契約ネットにおける入札、落札といった判断に用いられる基準は固定的であるため、刻々と変化する動的な環境に柔軟に対応するのは困難である。

そこで本研究では、自律移動ロボットが複数存在するマルチエージェントシステムにおいて、ファジィ推論を組み込んだ契約ネットプロトコルに基づいたロボット間通信によって協調制御を実現する手法を提案する [5, 6]。契約ネットの入札、落札の判断をファジィ推論を用いることで、人間が行うような複雑で柔軟なタスク割当による協調行動の実現が期待できる。本手法では、また、提案手法の有効性を検証するため、RoboCup 中型ロボットリーグ [7] 規格に基づいたシミュレータを作成し、いくつかの環境条件について実験を行ったのでこれについても報告する。

2 契約ネットによる協調行動制御

本研究では、複数の自律移動ロボットが存在するマルチエージェントシステムを想定し、その環境下で契約ネットとファジィ推論を用いたロボット間通信による協調行動制御を実現する手法を提案する。筆者らの研究室では、RoboCup 中型ロボットリーグに参戦しており、本研究におけるマルチエージェントロボットの実証用ベースとして作成した RoboCup 中型ロボットリーグ規格のシミュレータを用いることにした。

2.1 契約ネットプロトコル

契約ネットプロトコル (Contract Net Protocol) は、契約ネットにおいてエージェント同士の効率的なメッセージのやり取りのために Smith [4] によって提案されたプロトコルである。システムの形態などによって設計者が自由に拡張することができ、環境やエージェントの状態に応じた効率の良いエージェント間のコミュニケーションを実現することができる。

2.2 本研究で想定した環境

本研究ではエージェントとして RoboCup 中型ロボットリーグ規格のサッカーロボットを想定しており、比較的少数のロボットが存在する分散型マルチエージェントシステムにおいて、ロボット同士の通信を用いたやり取りによる、より柔軟な協調行動制御を行うことを目的としている。サッカーロボットには様々な協調行動の形態が存在するが、ここでは契約ネットのタスクとしてエージェント同士のパスと、パスを受けてシュートすることを扱う。また、ファジィ推論での入力としてボールや敵ゴールとの位置関係を用いる。これにより、サッカーにおける連携プレーのような協調行動をロボット同士で実現することを目指す。

2.3 アルゴリズムフロー

本手法における全体としての契約交渉の流れは Smith が提案したアルゴリズムに従っており、マネージャ、契約者それぞれのアルゴリズムフローは図 1 のようになる。図中の番号に相当する処理を以下に詳しく説明する。

- ① タスクが発生したエージェントは、そのままマネージャとなり他のエージェントにタスクの告知を行う。この際、発生したタスクの種類とともにこのタスクについての入札条件も一緒に送信する。
- ② タスク告知メッセージを受け取った契約者は、入札の目安となる値である入札適合度をファジィ推論により計算し、条件を満たしていれば、入札条件に対する自分の今の状態とともに入札メッセージをマネージャに送信する。
- ③ 入札メッセージを受け取ったマネージャは入札してきた契約者の中でもっともタスクの実行に適した契約者を選択する。その際、入札者ごとに落札適合度をファジィ推論により計算し、それを基にタスクの落札者を決定する。もし誰からも入札がない場合は、入札条件を緩めて再度タスク告知を行う。
- ④ どの契約者と契約を結ぶかを決定したマネージャは、「どの契約者が」「どんなタスク」を落札したかを全契約者に落札メッセージとして送信する。
- ⑤ 落札メッセージを受け取った契約者は誰が落札したかをみて、もし自分が落札していたら割り当てられたタスクの実行に移る。
- ⑥ 割り当てられたタスクを実行し終えた契約者は全エージェントにタスク実行報告を行い契約を終了する。
- ⑦ タスク実行報告を受け取ったマネージャは、一緒に送信されてきたタスク終了時の契約者の状態をみて、タスク終了を判断し、契約を終了する。

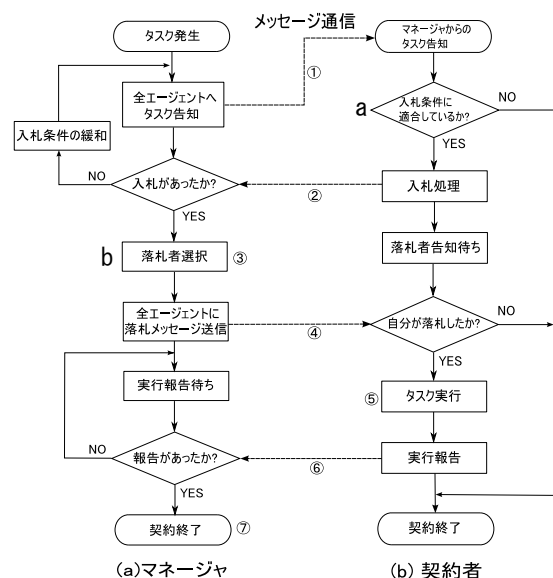


図 1. 本手法のアルゴリズムフロー

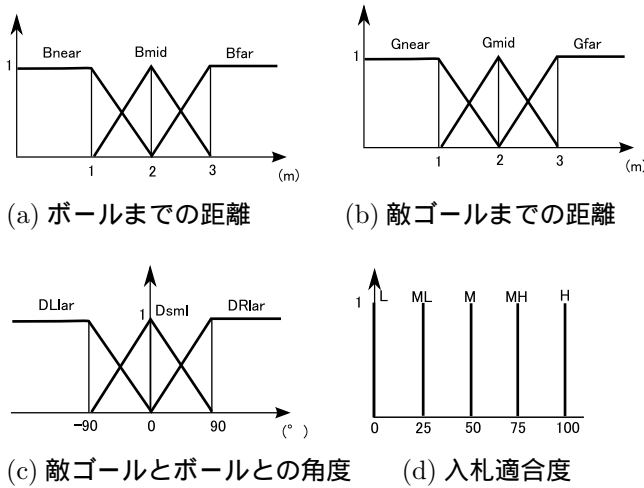


図 2. 入札適合度のメンバーシップ関数

表 1. 入札適合度ファジィルール

	DLlar			Dsml			DRlar		
	Bnear	Bmid	Bfar	Bnear	Bmid	Bfar	Bnear	Bmid	Bfar
Gnear	MH	H	M	ML	MH	L	MH	H	M
Gmid	MH	ML	L	ML	ML	L	MH	ML	L
Gfar	L	M	L	L	M	L	L	M	L

3 ファジィ推論による入札・落札適合度の算出

従来の契約ネットでは、入札や落札といった処理の基準として単一の情報しか用いていない。しかし、それでは環境を考慮した柔軟なタスク割当が行えるとは限らない。そこで、複数のあいまいさを含む情報を総合的に評価することができるファジィ推論を用いて、これを契約ネットと組み合わせることで、実際に人間が行っているような柔軟なタスク割当を行うことができると思われる。

本手法では契約ネットの入札、落札に際しファジィ推論を用いてタスクへの適合度を算出し、その値を基に判断を行っている。入札時に使用する適合度を「入札適合度」、落札時に使用する適合度を「落札適合度」とし、入札適合度は入札エージェントが、落札適合度はマネージャがそれぞれファジィ推論を用いて算出する。タスクに対する適合度を、ファジィ推論を用いて複数の情報を基に総合的に算出することでより環境に対応した柔軟な協調行動が期待できる。

3.1 入札適合度

入札適合度は、タスク告知を受け取ったエージェントが入札に際して算出する値であり、入札するかどうかの基準となる。タスクへの入札について、エージェントは複数の情報から「タスク実行にどれだけ適合しているか」の基準となる入札適合度 (0~100) を算出する (図 2 の (d))。入札適合度はファジィ推論により求められ、この入札適合度が一定値を越えたときにエージェントはタスクに対し入札を行う。サッカーエージェントにおけるパスタスクに対する入札適合度決定のメンバーシップ関数を図 2 に、ファジィルールを表 1 に示す。ファジィルールは 3 入力 1 出力になっており、ボールの距離、敵ゴールの位置、そして自分から見たボールとゴールの位置関係を基に入札適合度を算出する。ここでは 4m × 3.4m のミニチュアサッカーコート想定してメンバーシップ関数の値を決定している。

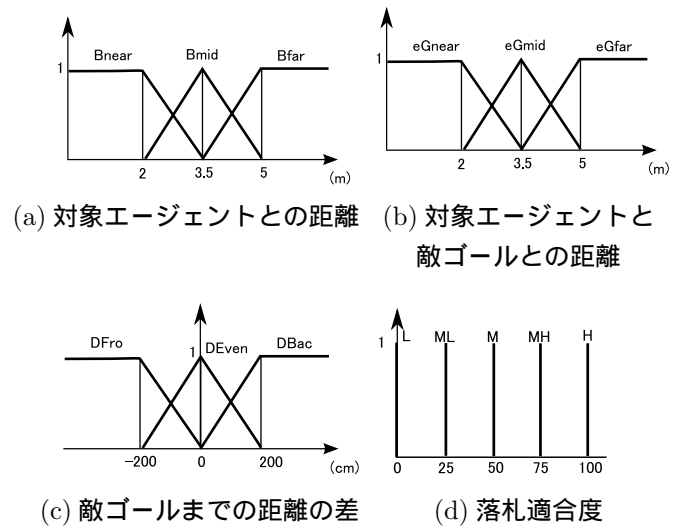


図 3. 落札適合度のメンバーシップ関数

表 2. 落札適合度ファジィルール

	DFro			DEven			DBac		
	Bnear	Bmid	Bfar	Bnear	Bmid	Bfar	Bnear	Bmid	Bfar
eGnear	M	H	MH	ML	ML	L	M	MH	MH
eGmid	M	MH	M	ML	ML	L	M	ML	L
eGfar	L	M	M	L	ML	L	L	M	L

3.2 落札適合度

落札適合度はタスクの落札者を決定する際にマネージャ側で計算される値である。入札してきたエージェントの情報を基に入札エージェントとは別の基準に基づいて算出される。サッカーエージェントにおけるパスタスクに対する落札適合度決定のメンバーシップ関数を図 3 に、ファジィルールを表 2 に示す。入札適合度の時と同様にファジィルールは 3 入力 1 出力になっており、ボールの距離、敵ゴールの位置、そして自分から見たボールとゴールの位置関係を基に落札適合度を算出する。また、ファジィルールについてもパス後の位置が戦術的に自チームに有利になるように設定してある。また、入札者から送られてくる情報を少なくするため、距離情報のみを用いたファジィルールとなっている。

3.2.1 最終的なタスク適合度の計算

マネージャは、入札者から送られてきた入札適合度と自分で算出した各入札者の落札適合度の両方を基に最終的な各エージェントのタスクへの適合度を決定する。この計算はファジィ推論ではなく以下の式で行うものとする。

$$F_f = \frac{F_a F_b}{100} \quad (1)$$

ここで F_a は入札適合度、 F_b は落札適合度、 F_f は最終的なタスク適合度である。最終的に F_f の値が最も高かった入札者にタスクが渡される。(1) 式ではマネージャ側で算出した落札適合度に入札適合度を百分率にして掛け合わせたものを最終的なタスクへの適合度としている。これは、マネージャで算出した落札適合度をベースに、入札適合度を最終的な適合度算出の参考にしてしていることを意味する。

4 シミュレーション実験

提案手法の有効性を検証するため、RoboCup Soccer を想定したシミュレータを作成し、これを用いていくつかの環境条件によるシミュレーション実験を行った。図 4 に使用したシミュレータの概観を示す。



図 4. シミュレータ概観

4.1 実験環境

RoboCup Soccer を想定したシミュレータを用い、タスクとしてパスタスクを設定し、エージェント 4 体によるファジィ推論を用いた契約ネットと通常の契約ネットとの比較実験を行った。契約ネットの入札、落札といった判断において、(1) ファジィ推論を用いない、(2) 入札時のみファジィ推論を用いる、(3) 落札時のみファジィ推論を用いる、(4) 入札、落札の両方でファジィ推論を用いる 4 パターンを比較した。

エージェントの初期配置を図 5 に、エージェントの初期状態を表 3 に示す。図 5 において丸で囲んであるのがマネージャ、番号が振ってあるのが入札者である (マネージャは 0 番)。また、図の左側が敵陣となっている。

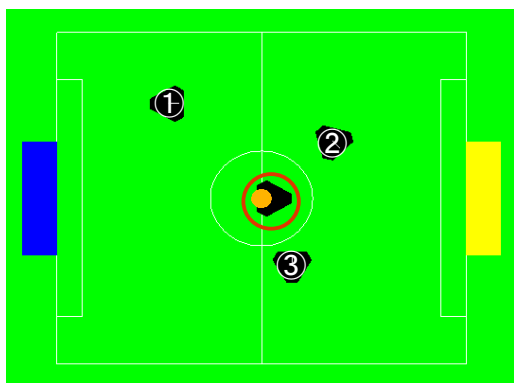


図 5. エージェント初期位置

表 3. エージェントの初期状態

	ボールまでの距離 (m)	敵ゴールまでの距離 (m)	敵ゴールとボールとの角度 (°)
エージェント 1	1.34	1.48	-90
エージェント 2	0.92	2.52	-23
エージェント 3	0.76	2.40	63

4.2 実験結果

実験の結果、ファジィ推論を一度でも用いた場合はエージェント 1 が、そうでない場合はエージェント 3 がタスクを割り当てられている。ボールの遷移を表す図と通信のやり取りを示すメッセージの流れを表したグラフを図 6 に示す。ボールの遷移を表す図の番号とグラフの番号は図 1 のアルゴリズムフロー中の数字に対応している。また、矢印のそばにある数字は入札、落札それぞれの適合度を表している。入札、落札の両方にファジィ推論を用いた場合は、最終的な適合度の下の括弧内に落札適合度を表示している。図 7 はファジィ推論を用いない場合と用いた場合の落札エージェントの変化を示したものである。図中の下の数字はグラフ中の数字に対応している。

ファジィ推論を用いない場合、最もボールに近いエージェント 3 がタスクを落札し、パスを受け取っている。ファジィ推論を入札判断にのみ用いた場合、ファジィ推論により入札時にエージェントが自己評価を行い、入札適合度が 60 を越えたエージェント 1 のみ入札を行っており、そのままエージェント 1 がタスクを落札し、パスを受け取っている。ファジィ推論を落札判断のみに用いた場合、全てのエージェントの中で落札適合度が最も高いエージェント 1 がタスクを落札し、パスを受け取っている。入札、落札の両方にファジィ推論を用いた場合、エージェントは入札時に一度自己評価を行う。さらに落札時にマネージャによって選択される。実験結果ではエージェント 1 がタスクを落札し、パスを受け取っている。

入札、落札の両方にファジィ推論を用いた場合、エージェントは入札時に一度自己評価を行う。さらに落札時にマネージャによって選択される。今回は入札エージェントがエージェント 1 のみであったため、そのままエージェント 1 がタスクを落札し、パスを受け取っている。

ファジィ推論を用いた場合、最終的にエージェント 1 にタスクが受け渡されている。図 7 にも表れているように、エージェント 3 にパスを行うよりもエージェント 1 にパスを行った方が、この後敵陣に攻めることを考えると有利である。このようにファジィ推論によりユーザーがタスク実行における戦略を組み込むことができ、より高度な協調行動を実現できる。

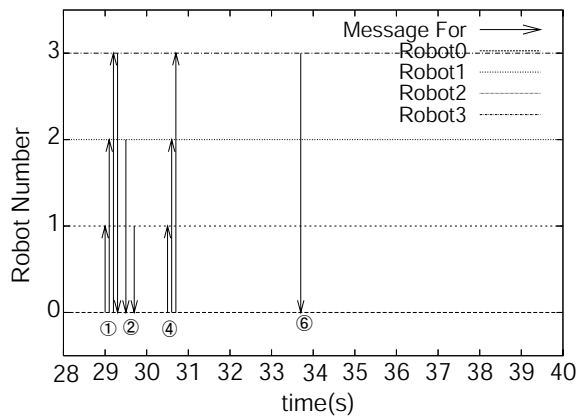
4.3 考察

ファジィ推論を用いた場合はエージェント 1 が、ファジィ推論を用いなかった場合はエージェント 3 がタスクを割り当てられている。この実験では、ファジィ推論を用いた場合は「タスク達成にどれだけ適しているか」を、ファジィ推論を用いていない場合は「ボールとの距離」を基準にどのエージェントへタスクを受け渡すかが決定されている。エージェントが図 5 の位置にあるような場合、ボールを持っているエージェントよりもゴールに近いエージェント 1 にボールが渡れば、自チームに有利になると考えられる。ファジィルールにはそういったユーザーによる戦略が組み込んであるため、今回の実験のように適切なタスク割当が行われたものと思われる。

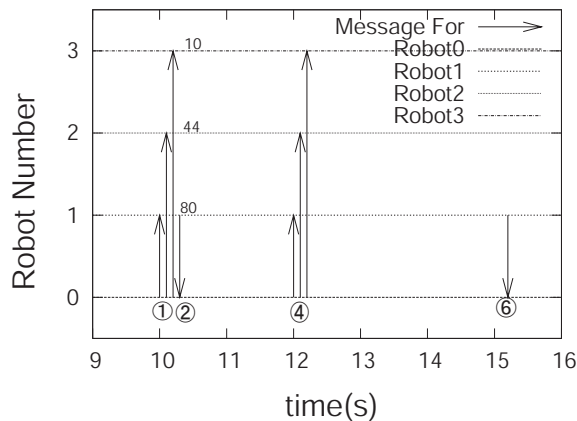
ファジィ推論を用いていない契約ネットでのタスク割当の基準は「ボールとの距離」ではなく、「敵ゴールとの距離」にすれば、ファジィ推論を用いた場合と同じような結果になると考えられるが、エージェントの初期位置が変化した別の環境下で適切なエージェントにタスクが割り当てられる保障はない。ファジィルールを用いた場合、今回と異なる環境下でも適切なエージェントに柔軟にタスクを割り当てることができると考えられる。

5 結言

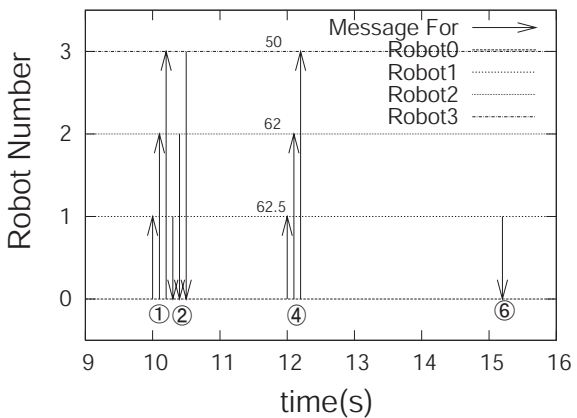
本研究では、マルチエージェントシステムに適用した契約ネットの入札、落札といった判断を伴う部分に、ファジィ推論を用いることで、複雑な環境下において柔軟なタスク割当が可能な手法を提案した。提案手法の有効性を検証するため、RoboCup Soccer を想定したシミュレータを作成し、これにより、ファジィ推論の有無によるタスク割当の変化、ファジィ推論を用いる判断の違いによるタスク割当のシミュレーション実験を行った。実験の結果、契約ネットにおける入札、落



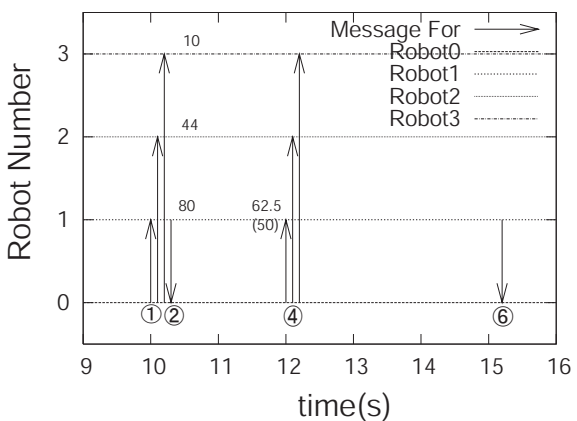
(a) ファジィ推論なし



(b) 入札時にファジィ推論

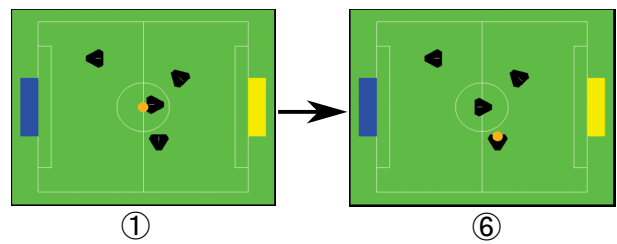


(c) 落札時にファジィ推論

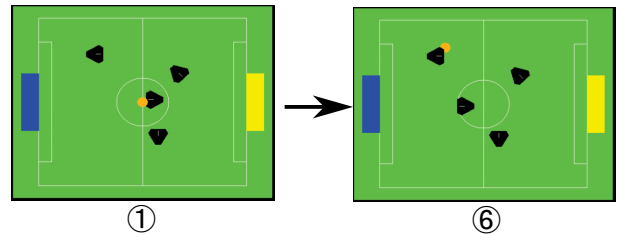


(d) 入札、落札両方にファジィ推論

図 6. 実験結果



(a) ファジィ推論なし



(b) ファジィ推論を使用

図 7. 落札エージェントの変化

札の両判断にファジィ推論を用いることで、従来の契約ネットよりも、適切なタスク割当を実現できることが確認された。また、従来の契約ネットでは対処が困難であった複雑な環境下でも入札、落札の二つの異なる基準を用いることで柔軟なタスク割当が可能であることがわかった。

今回は最終的なタスクへの適合度を算出する際に入札適合度と落札適合度を同等のものとして扱った。しかしながら、概念的にマネージャは入札者よりも一段高いレベルにあるため、入札者よりもグローバルな視点でタスクを捉えることができるはずである。このあたりを考慮して最終的なタスクへの適合度を算出する必要があるものと思われる。これについてはシステムを改善する上で、ファジィルールの調整とともに今後の課題と考えている。

参考文献

- [1] B.P.Gerkey, M.J.Mataric, "Sold!: Auction Methods for Multirobot Coordination," *IEEE Transaction on Robotics and Automation*, Vol.18, No.5, pp.758-768 (2002)
- [2] 西山裕之, 大和田勇人, 溝口文雄, "タスクレベル協調のためのエージェント間交渉," 人工知能学会全国大会論文集, Vol.12, pp.554-557 (1998)
- [3] K.Yokota, K.Ozaki, N.Watanabe, A.Matsumoto, D.Koyama, T.Ishikawa, K.Kawabata, H.Kaetsu and H.Asama, "UTTORI United: Cooperative Team Play Based on Communication," *RoboCup-98: Robot Soccer World Cup II*, Springer, pp.479-484 (1999)
- [4] R.G.Smith, "The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver," *IEEE Trans. on Computers*, Vol.C-29, pp.1104-1113 (1980)
- [5] 藤田陽平, 前田陽一郎, "契約ネットプロトコルを用いたロボット間通信による協調行動制御," 第 24 回日本ロボット学会学術講演会, CD-ROM, 2111(2006)
- [6] 藤田陽平, 前田陽一郎, "ファジィ推論に基づく契約ネットを用いた協調行動制御," 第 25 回日本ロボット学会学術講演会, CD-ROM, 3F35(2007)
- [7] 中村恭之, 高橋泰岳 編著, 中型ロボットの基礎技術 - 対戦のための協調行動に向けて -, 共立出版 (2005)