

様相オペレータを具備したエージェントによる追跡問題の研究

鈴木 貴雄 東条 敏

北陸先端科学技術大学院大学

石川県能美郡辰口町旭台 1-1

0761-51-1699 (1367)

takao@jaist.ac.jp tojo@jaist.ac.jp

あらまし

本研究では、マルチエージェントの内部モデルとして存在する代表的な BDI モデルに新たな様相オペレータ UD を追加した新たなエージェントモデルを提案する。本モデルを用いては、分散協調問題解決において典型的なものである追跡問題を扱うことにする。オペレータ UD は感知した情報が複数の候補の中からうまく区別できない状態を表現する。追跡問題では相手の行動予測を記述する手段としてこの UD を用い、相手の複数の行動プランを記述する手段とし、協調して追跡するエージェントの追跡能力を向上させることをめざすとともに、エージェント間のコミュニケーションモデルの精密化を図る。

キーワード

マルチエージェント, 様相オペレータ, 追跡問題

The Pursuit Problem by Multi-Agent with UD Modal Operator

Takao Suzuki Satoshi Tojo

Japan Advanced Institute of Science and Technology, Hokuriku

1-1, Asahidai, Tatsunokuchi, Ishikawa 923-1292, JAPAN

0761-51-1699 (1367)

takao@jaist.ac.jp tojo@jaist.ac.jp

Abstract

The pursuit problem is a typical distributed cooperation problem of multi-agents. In this paper we propose an agent model for this problem, based on the BDI model, with an additional modal operator UD that is the perceptual indistinguishability. In the pursuit problem, we considered that the UD operator is utilized to describe the candidates of expected actions of the running-away opponent. With this extension, we model and show that the agent-s can cooperate each other more efficiently in solving the problem than the traditional BDI model.

key words

multi agent, modal logic, pursuit problem

1 はじめに

マルチエージェントの分野における分散協調問題解決では、単独のエージェントで解決するよりも、複数のエージェントが協調と一貫性を持って相互にコミュニケーションを行うことによって解決の方が効率的である。

本研究の特色は、マルチエージェントの典型的な問題の一つである追跡問題に様相論理を適用することである。追跡問題とは、基盤目上に配置された味方エージェントが相互にコミュニケーションを行い、敵エージェントを取り囲むといういわゆる鬼ごっこのようなものである。その環境をサッカーの攻めという状況に置き換えると、味方エージェントがボールを持った敵エージェントのボールを奪い、ゴールの方向へ持っていくといったような戦略に適用可能であると考えられる。エージェントは自身の環境によって、認知や区別の判断に対して信頼性があるかどうか不明であるため、新たな様相概念を導入したエージェントモデルが必要である。

追跡問題ではエージェントの性能の向上をめざすと同時に、将来的には近年行われているロボカップのシミュレーションに寄与することを念頭におく。実際に出場しているチームの中では、BDIモデルを導入しているところがあるが、新たに様相オペレータUDをBDIモデルに追加することによって多様性のある、様々な状況に適合したエージェントの行動をとることが可能であると思われる。

エージェントのコミュニケーション過程における通信の経路では、情報交換を行う際に信頼性が高い場合は送った情報がそのまま受け手に伝わり、ところがエージェントの状況が刻々と変化していくと、視野の制限やノイズが入るなどして信頼性が低くなるために受け手は受信した情報をそのまま認知するのではなく、“Belief”と捕らえることによって情報自体が曖昧なものになってしまう。

本研究の目的は、マルチエージェントにおいて典型的な追跡問題を取り上げ、各エージェントが情報交換する際に生じる情報の認知不足や不確実性に対処して、より現実的な状況を想定したエージェントの追跡をシミュレートすることである。

ここでは知識や信念といった様相オペレータを

導入し、エージェント間のコミュニケーションモデルの形式化を行う。また従来存在するBDIモデルに様相オペレータUDを加え、エージェントのタイプを定義することによって状況認知能力の向上を目指す。

2 追跡問題

本研究ではリアルタイムに状況が変化する動的組織の問題解決として、典型的な問題である追跡問題(図1)を扱う。追跡問題は[Benda et al. 85]の内容により、以下のように定義されている。

青い4つのエージェント赤い一つのエージェントを囲い込むことを目的とする。各エージェントは無限に広がる2次元のグリッド上を動く。すべての青いエージェントと赤いエージェントによる一つの動きがサイクルをなす。赤いエージェントは以下の規則に従って行動する。

- 水平または垂直方向に1ステップ動くことができる。またその位置に留まることも可能である。
- 青いエージェントがいるグリッドに移動する(エージェントが重なる)ことはできない。

赤いエージェントは、もし与えられたサイクルにおいてどこにも移動できないとき、すなわち青いエージェントによって4隅を囲まれた場合は捕らえられてしまう。青いエージェントは以下の規則によって行動する。

- 水平または垂直方向に隣り合ったグリッドの一つに移動できる。
- 占有している所に重複して存在することができる。
- 赤いエージェントのいる場所へは移動できない(赤いエージェントを取り囲むことが目的である)。そのために青いエージェントは最大4つの方向へ移動することができる。もし移動できる位置の中で最も好ましい位置に赤いエージェントがいる場合は移動しないことも可能である。

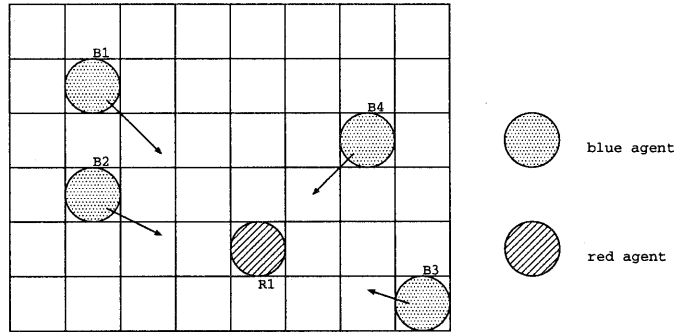


図 1: 追跡問題

[大沢 93] によると、視界の制限によって問題空間に関する情報が不完全な場合は、自律エージェント組織の問題解決は著しく劣化する。周囲の状況によって動的環境が変化するようなシステムにおいては、問題解決のための全体的な制御が非常に困難である。

このような環境で独立して動作するエージェントは能力において制約があり、信念に関して部分的な情報しか得ることができない。そのために、本研究では追跡問題を次のセクションで説明する P や UD といった様相論理で記述することによってエージェントモデルの形式化を行う。

3 様相オペレータについて

3.1 BDI モデル

一般に実行環境の変化に対応し、洗練されたエージェントの内部モデルが幾つか提唱されており、代表的なモデルとして BDI モデルが挙げられる。BDI モデルは人間の意思決定機構をモデル化し、Belief(信念), Desire(願望), Intension(意図) に応じて次に行う行動を決定していくモデルである。

1. エージェントは信念 (Belief) を持っており、観測される現状から見えない状況までをシミュレートする。

2. 状況に対して次の行動の候補 (Desire) を選択する。
3. Desire の中から最も状況に適した行動を Intension として選択する。
4. Intension に合ったプランのパラメータが算出され、次の行動として実行される。

このように、信念、願望、意図といった心的状態に置き換えたモデルを用いることによって、エージェントにより人間らしい合理性を取り入れることが可能である。また協調し合う相手のエージェント意思を推論するなど、高度な能力を実現することが可能である。

BDI モデルでは、実行環境についてエージェントが持つ情報を信念、エージェントにとって実現可能な目標の集合を願望、エージェントが決定した選択を意図として表現する。与えられた情報に基づいて達成すべき目標を目指して行為を遂行することは、エージェントの備える基本的特徴の一つである。エージェントによって決定される意図は、その信念と願望に左右されることになり、この意思決定過程における基準をエージェントの合理性と言い換えることができる。つまり、エージェントは利用者や他のエージェントの双方向通信によって形成される合理性に基づき、信念と矛盾せずに願望を実現しようと意図を決定して行動していく。

3.2 Perception

まず様相論理における Perception についての形式化を表す。Perception は認知を獲得するために様相オペレータ P として設定され、様相オペレータ Belief に類似したものとして扱われる。そして論理式 $P\psi$ は

“エージェントの認知の下で ψ ”である”

と解釈する。ところがこれを“エージェントは ψ を認知する”と解釈すると、何を知覚したかということと、“解釈すること”の認知を区別しなければならないので注意する必要がある。

Perception は一般に違った世界での状況の中で、何が認知されたかについての完全な情報を供給するものではない(知覚的に区別できないという概念が導かれていた = パラドックス)。そのために Perception は反射的であつ対照的であるが、推移的でない関係が要求される。

3.3 Indistinguishability

E.Davis によれば、認知するものがその他の否定を認知することと矛盾するとき、エージェントが2つの論理式を知覚的に区別できない [Davis 89]。しかしながら、直接知覚的に区別できないことの特性を定義したほうがよいと思われる。そのために一つの世界において知覚的に区別できない2つの論理式概念が定義されている。 [shoham 94]

定義 1:

UD の定義

$$UD(\psi, \phi) = \text{def } \neg(P\psi \wedge P\neg\phi) \wedge \neg(P\phi \wedge P\neg\psi)$$

定義 2:

M, s で ψ と ϕ を区別できない場合

$$M, s \models UD(\psi, \phi)$$

定義 3:

M で ψ と ϕ を区別できない場合

$$M, s \models UD(\psi, \phi) \text{ for every } s \in W$$

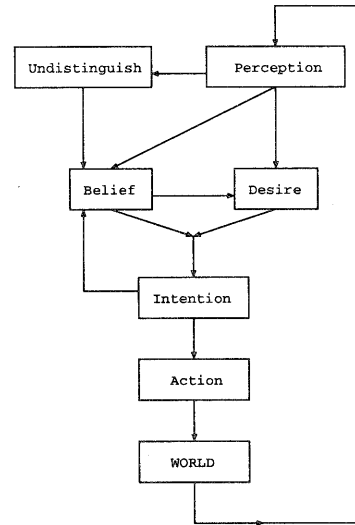


図 2: UD を追加した BDI モデル

定義 4:

M で ψ と ϕ が知覚的に矛盾する場合

$$M, s \models (P\psi \supset P\neg\phi) \wedge (P\phi \supset P\neg\psi) \text{ for every } s \\ \models W$$

これらの定義を使ってパラドックスが決して生じないことを理解することができる。オペレータ UD は、反射性や対称性があり、非推移性がある。

命題 1: (反射性) $UD(\psi, \psi)$

命題 2: (対称性) $UD(\psi, \phi)$

命題 3: (非推移性) $UD(\psi, \phi) \wedge UD(\phi, \varphi) \wedge \neg UD(\psi, \varphi)$

これによって、エージェントの状況によって区別できないというパラドックスを避けることができる。

4 エージェントモデル

4.1 追跡エージェント

追跡問題における追跡 (青) エージェントとして、自律、通信、交渉、制御の4つのタイプがある。視界範囲が制限されている状況において、自

律エージェントは初期状態から最終局面付近への収束が非常に悪いため効率的に問題がある。それに対して通信エージェントの場合は、交渉を通じてよりよい可能性を見つける機会を得ることができる。ところがエージェント同士で行う通信のコストによっては、かえって効率が下がってしまうことがある。通信コストを下げるためには、エージェントモデルのコミュニケーション経路を形式化する必要がある。前章で述べた論理を用いて説明する。

BDIモデルでは、信念(B)から候補(D)を選択し、その中から意図(I)に合ったものが行動として実行される。それに対して、本稿ではエージェントの知覚状況や情報不足なども考慮したモデルを設計する。行動を決定する状況に信念(B)だけでなく、前章で説明した認知(P)と不分別(UD)の様相概念を取り入れる。それらの情報は、エージェントの行動を決定する意思決定機構で図2のように信念と同段階に位置づけられる。

追跡問題において、認知と不分別はそれぞれ次のような役割を持つ。

認知(P)：エージェントから観測可能な世界モデルであり、信念より信頼性がある。信念より優先度が高い情報であるが、エージェントの能力により範囲は狭い。

不分別(UD)：情報取得能力の精度を表わしている。エージェントからより遠い所から得た情報ほど精度が悪い。

これにより、信念では扱う事ができなかったエージェントモデルを実現できる。

4.2 エージェントモデルの形式化

図3において、赤いエージェントR1が逃げる時の青いエージェントB4の追跡について考えてみる。R1が座標(e,2)から(e,3)に移動すると、B4から見てψかφの領域のどちらかを選択して移動しなければならない。R1は(e,2)から(e,3)に移動したためにそのままψの方向に進むかもしれ

ないが、φに進む可能性もある。したがってB4はR4がψかφの方向のどちらに進むか推論しなければならない。B4からR1を認知して

$$\begin{aligned} B4: & (B(R1(e,4), t_2) \\ & := B(R1(e,2), t_1) \\ & \oplus P(R1(e,3), t_1) \\ & \oplus UD((R1(e,4), t_2), (R1(f,3), t_2)) \end{aligned}$$

R1が^s(e,4)へ進むという信念が推論される。

$$\begin{aligned} B4: & \{B(R1(e,4), t_2) \vee B(R1(f,3), t_2)\} \\ & \oplus \{D(B4(f,4), t_2) \vee D(B4(g,3), t_2) \vee \dots\} \end{aligned}$$

BとDから最適な行動の一つを選択することにより行動のプランを立てることができる。

{D(Self(f,4), t₂), ...}の中からI(Self(f,4), t₂)が選択され、(e,4)がB4の次の行動であることが推論できる。

ここで行われた推論を一般的に表すことにする。B4はR1が座標(x₁, y₁)にt₁の時点で存在するのを認知していることを

$$\text{Self: } P(r(x_n, y_n), t_n)$$

と表す。rがψかφのどちらかの方向に行くのかSelfは区別できないので、認知した情報から区別できないという概念と認知を加えることによって新たな信念を持つことができる。

$$\begin{aligned} \text{Self: } & (B(r(x_{n+1}, y_{n+1}), t_{n+1}) \\ & := B(r(x_n, y_n), t_n) \oplus P(r(x_n, y_n), t_n) \\ & \oplus UD((r(x_{n+1}, y_{n+1}), t_{n+1}), (r(x_{n+1}, y_{n+1}), t_{n+1})) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Self: } & \{B(r(x_{n+1}, y_{n+1}), t_{n+1}) \\ & \vee B(r(x_{n+1}, y_{n+1}), t_{n+1})\} \\ & \oplus \{D(\text{Self}(x_{n+1}, y_{n+1}), t_{n+1}) \\ & \vee D(\text{Self}(x_{n+1}, y_{n+1}), t_{n+1}) \vee \dots\} \end{aligned}$$

Self: {D(Self(x_{n+1}, y_{n+1}), t_{n+1}), ...}の中からSelf: I(Self(x_{n+1}, y_{n+1}), t_{n+1})が一つ選択される。

以上のことから、従来のBDIモデルに対してUDといった新しいオペレータを追加することによって、追跡エージェントは逃亡エージェントの意図を推論して行動することが可能になる。

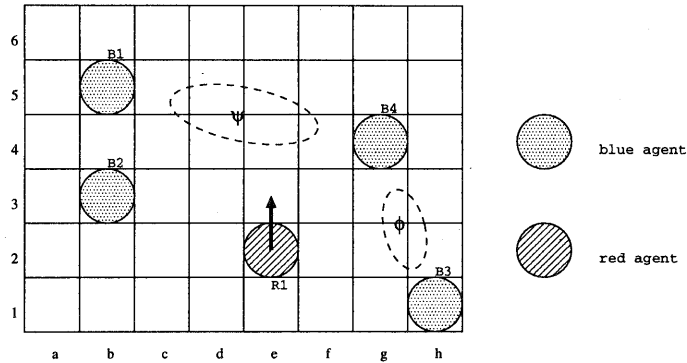


図 3: 追跡例

5 おわりに

分散協調問題として典型的なものである追跡問題に対して、BDIモデルと様相オペレータUDを導入することにより、エージェント間のコミュニケーションモデルの提案を本研究では行ってきた。今後の課題としてエージェントモデルの検証を行うためにシステムの実装を行い、プログラミングによるシミュレーションを行って実験的なアプローチをすることを予定している。

参考文献

- [1] Y.Shoham. A logic for Perception and Belief, draft, 1994.
- [2] E.Davis. Solutions to a paradox of perception with limited acuity. In Proceedings of the First International Conference on Knowledge Representation and Reasoning, 1989.
- [3] 大沢英一. 問題空間の変化に適応する協調的スキーマー追跡ゲームにおける考察, 1993.
- [4] 田中久美子, フランクイアン, 野田五十樹. RoboCup シミュレーションリーグの統計分析. 人工知能学会誌, Vol.14, No.2, pp.200-207, 1999.
- [5] Keith Devlin. Logic and Information. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 1991.
- [6] M.Benda, B.Jagannathan, R.Dodhiawalla. On Optimal Cooperation of Knowledge Sources. Technical Report BCS-G2010-28, Boeing AI Center, 1985.
- [7] 村川賀彦, 東条敏. エージェント間コミュニケーションの論理的形式化に関する研究, 1998.