

多エージェントにおける共有信念の構造

4 G-5

千葉 誠一 山崎 貴満 房岡 璋
立命館大学情報学科

1 はじめに

複数のエージェントが同時に存在し、タスクを遂行する場合を想定する。この環境において起こる問題として、あるエージェントが他のエージェントの活動を妨害したり (confliction)、活動が無限に引き伸ばされている場合 (dead lock) がありうる。このような問題を解決するために、折衝 (negotiation) の機能を持たせる事が一般的であるが、より簡単な方法として、エージェントが因習 (社会規則 : social law) に従うことによって上の様な問題を negotiation の機能を持たせる事なしに解決することが提案されている。[3]

一般に合理的なエージェントが信念に基づいて行動する環境下において、社会規則が成立するためには、単に規則を知っているだけではなく、他のエージェントが社会規則を知っているか否かに関する知識を必要とする。二人の人間がある共有知識を持つということは、単に二人ともその知識を知っているばかりでなく、お互いに相手が「その知識を知っていることを知っている」こと、更に「知っていることを知っていることを知っていること」... 等、知識の所有に関する無限の付帯的な知識を共有していることを意味する。このように、共有知識は多エージェントにおける問題解決の基本的な要素であるにも関わらず、その定義において無限操作を含んでいる為、取り扱いが難しい。[1]

本研究では、社会規則を共有知識ではなく各エージェントの自己信念として定義する。全てのエージェントが自己認識論理 [2] に基づき、合理的かつ内省的であり、かつ「他のエージェントが社会規則を知らないならその事を自分は知っているはずだ」という信念を持っているモデルを考察する。

例えば、エージェント a, b と社会規則 sl が与えられているとする。a が、「私は、社会規則 sl を知っており、もし、b が sl を知らないのなら、その事を自分は知っているはずだ。」という信念のみを a の信念集合に持っていたとする。a は、自己認識論理に基づいて、「b は、sl を知っている。」と結論を出す。

もとより、b が sl を知っているか否かは断定できない。もし、b が sl を知らない場合はどこかで、confliction が起こり、a は、b が sl を知らない事を認識することになる。従って、非単調推論に基づき共有信念がしだいに形成される。しかし、全てのエージェントが社会規則を知っている場合、安全 (confliction free) な集団行動を行なうことができる。結果として共有知識より弱い

形で共有されている形態においても安全 (confliction free) な集団行動が行えることを示す。

2 Mutual Epistemological Space

合理的かつ内省的なエージェントの集合を G とする。すなわち各エージェント $a \in G$ は、自己認識論理に基づいて、信念集合 Δ_a を持つ。更に、 G と Δ_a に基づき以下で定義する社会規則の集合 Λ が与えられた時、 (G, Λ) を Mutual Epistemological Space と呼ぶ。

[定義 1 社会規則 (Social Law)]

社会規則 (Social Law) の集合 Λ は、無矛盾な命題論理式の集合であり、次の条件を満たすものとする。

$$\Lambda = \{\alpha | \forall x [B_x \alpha \supset \forall y (B_x (\neg B_y \alpha \supset B_x \neg B_y \alpha))]\}$$

すなわち、Social Law α は、 α を知っているエージェントは、同時に、「もし、他のエージェント b が α を知らないならば、b が α を知らないということは自分は知っている」という信念を持っているという条件を満たす。

社会規則 Λ の基本的な性質として以下が成り立つ。

[基本性質 1] Λ は論理閉包である。すなわち、

Prop 1. $\alpha \in \Lambda$ and $\beta \in \Lambda \rightarrow \alpha \wedge \beta \in \Lambda$

Prop 2. $\alpha \in \Lambda$ and $\alpha \supset \beta \in \Lambda \rightarrow \beta \in \Lambda$

Prop 3. α が命題論理のトートロジー $\rightarrow \alpha \in \Lambda$

Prop 4. $\alpha \in \Lambda \rightarrow \neg \alpha \notin \Lambda$

[基本性質 2 (非単調性)] 社会規則 α を知っているエージェント a は、他者 b の社会規則に対する知識状態に関する信念を持たない時、 $B_b \alpha$ を信念として持つ。

3 Traffic World

交通規則と他のエージェントが交通規則についての知識を持っているかどうかを推論する能力を持つエージェントで構成される社会を考える。ここで、交通規則に関する具体例として信号のモデルを考える。(図 1)

3.1 エージェント

理想的で合理的なエージェントの信念の集合 Δ は、次の条件を満たす [2]。

[安定性] (1) Δ に含まれる論理式の論理的帰結を含む。

(2) もし、 $P \in \Delta$ なら $B(P) \in \Delta$ 。(3) もし、 $P \notin \Delta$ なら $\neg B(P) \in \Delta$ 。

3.2 信念の構成

エージェントの初期の信念の集合を Δ_x とする。エージェントの安定性の条件から、 Δ_x は、以下の条件を満

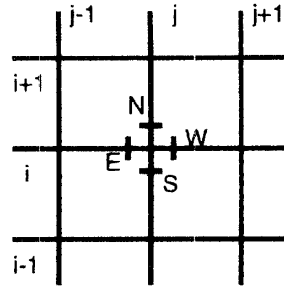


図 1: 信号モデル

たす集合の論理閉包である [2].

$$\Delta_x = A \cup \{B_x \alpha \mid \alpha \in \Delta_x\} \cup \{\neg B_x \alpha \mid \alpha \notin \Delta_x\}$$

もし、前提集合 $A1$ として、社会規則 α 以外の知識を含まない場合、 $\Delta_x^0 = A1 = \{\alpha, \neg B_y \alpha \supset B_x \neg B_y \alpha\}$ 条件より、 $\neg B_y \alpha \notin A1$ であるから、

$$\Delta_x^1 = \{\alpha, \neg B_y \alpha \supset B_x \neg B_y \alpha, \neg B_x \neg B_y \alpha\}$$

$$\Delta_x^1 = \{\alpha, \neg B_y \alpha \supset B_x \neg B_y \alpha, \neg B_x \neg B_y \alpha, B_y \alpha\}$$

結果として、 $B_y \alpha$ (他のエージェントは、 α を知らない) が信念の集合に含まれる。

しかし、前提集合 $A1$ に加えて $\neg B_y \alpha$ が含まれる場合は、 $B_y \alpha$ は、推論されない。

3.3 エージェントの行動原理

社会規則を知っている全てのエージェントは、出会った他のエージェント b についての知識に基づいて、次の行動原理に従う。

[社会規則に対する各エージェントの行動原理]

1. b が α を知っていることを知っている。 $\rightarrow obcy$

2. b が α を知っていることを知らない。 $\rightarrow Failsafe$

1. は、規則に従い、2. は、安全策をとることを意味する。

3.4 信号モデル

格子状に道路が存在し、各格子点 (i, j) につき、信号があり、各エージェントは信号に対して東西南北 ($d = (E, W, S, N)$) に位置する。エージェントは、交差点を渡る (go) と止まる ($stop$) という行為 ($Action$) をとる。

[定義 2 位置 $position(x)$]

$$position(x) = (i, j, d)$$

格子点 (i, j) の d の位置を意味する。

[定義 3 エージェント x の状態 $S(x)$]

$$S(x) = \{position(x), Action(x), \Delta_x\}$$

$S(x)$ は、 $position(x)$ 、行為 $Action(x)$ 、信念集合 Δ_x によって、決定される。

[定義 4 遷移関数 T_P, T_B]

$$T_P(position(x)) \equiv go(x) \supset (i + \rho_1, j + \rho_2, d) \\ \text{or } stop(x) \supset (i, j, d),$$

ただし、 $\rho_1 = 0$ if $d = E$ or W , 1 if $d = S$, -1 if $d = N$,

$\rho_2 = 0$ if $d = N$ or S , 1 if $d = E$, -1 if $d = W$ とする。

$$T_B(\Delta_x) \equiv conflict(x, y) \rightarrow$$

$$\{\alpha \in \Delta_x \supset \{\Delta_x \cup \{\neg B_y \alpha\}\} \wedge \alpha \notin \Delta_x \supset \Delta_x\}$$

T_P は、エージェント x の位置の遷移を意味し、 $go(x)$ なら交差点 (格子点) を渡り、次の信号のある格子点まで移動する事、 $stop(x)$ なら同じ位置にいる事を意

味する。 T_B は、 $conflict(x, y)$ が成り立つ場合、交通規則を知っているエージェントの信念集合に相手が交通規則を知らないという信念を加え信念が更新されることを意味する。

[定義 5 $conflict(x, y)$]

$$conflict(x, y) \equiv cross(x, y) \wedge go(x) \wedge go(y)$$

エージェントが交通規則に従わない場合、衝突 ($conflict(x, y)$) が起こる。ただし、

$$cross(x, y) \equiv \exists (i, j) \{position(x) = (i, j, E) \vee (i, j, W) \\ \wedge position(y) = (i, j, N) \vee (i, j, S)\}$$

$$(cross(x, y) \supset cross(y, x))$$

交差点で x と y が交差する事を意味する。

[定義 6 行動規範]

$$1. sl \in \Delta_x \supset [\forall p \{signal(p) = red \supset stop(x)\}$$

$$\vee \forall p \{signal(p) = blue \supset$$

$$\text{if } \exists y \{cross(x, y) \wedge \neg B_y sl \in \Delta_x\}$$

$$\text{then } stop(x) \text{ else } go(x)\}$$

$$2. sl \notin \Delta_x \supset go(x)$$

1. の社会規則を知っているエージェントの場合を意味し、信号が red の場合止まり、 $blue$ の場合で $cross(x, y)$ が成り立ち、他のエージェントが交通規則を知らない事を知らない時止まり、それ以外は渡るを意味している。2. のエージェントが社会規則を知らない場合は、渡るを意味している。

[定義 7 世界の状態 W]

$$W = \{signal(p_1), \dots, signal(p_m)$$

$$, position(x_1), \dots, position(x_n)$$

$$, \Delta_{x_1}, \dots, \Delta_{x_n}\}$$

Traffic world の状態は、格子点の各信号の状態、エージェントの位置、エージェントの信念集合によって定義する。全エージェントが社会規則を知っている場合、 $dedlock\ free$ かつ $conflict\ free$ な集団行動を行なえることを示した。

4 おわりに

本研究では、社会規則に対して「他のエージェントが社会規則を知らないならその事を自分は知っているはずだ」という信念を持つことにより、強い制約を持つ共有知識を形成することなく、より弱い制約のもとで社会規則を導入した。全エージェントが社会規則を知っている場合、 $dedlock\ free$ かつ $conflict\ free$ な集団行動を行なえることを示した。今後は、この条件の基での推論アルゴリズムの研究が今後の課題である。

参考文献

- [1] R. Fagin, J. Y. Halpern, Y. Moses and M. Y. Vardi : Reasoning About Knowledge, The MIT Press, 1995.
- [2] Robert C. Moore : Autocpistemic Logic , Non-Standard Logics For Automated Resoning , Academic Press , 1988.
- [3] Yoav Shoham and Moshe Tennenholtz : On the synthesis of useful social laws for artificial agent societies , AAAI92.