

マルチ・エージェントの最適な共有知識の形成法

3N-7

和泉 憲昌 大野 真 生天目 章

防衛大学校情報工学科

1. はじめに

本研究では、自己（私的）知識と共有知識の両方に価値（効用）をもつエージェントの集団にとっての最適な共有知識のレベルを、一般式として求める。次に、各エージェントがどのような私的知識と共有知識との配分をすれば、集団として最適な共有知識を形成できるかについて示す。また最適な共有知識形成のための各エージェントのコスト分担ルールについて求める。

2. 最適な共有知識のレベルとコスト分担の定式化

エージェント集団を構成する個々のエージェントが、自分の知識（私的知識）を提供することによって共有知識 Y を形成するものとする。まず、集団全体として最適な共有知識レベルを求める。次にその最適なレベルでの共有知識を形成するために必要な各エージェントのコスト分担ルールを求める。

各エージェントの効用関数を、私的知識 x_i 及び共有知識 Y の関数として次式で定義する。

$$U_i(x_i, Y) \quad (1)$$

集団全体として最適な共有知識は、各エージェントの効用関数の総和を最大にするレベル Y として、次の最適化問題を解くことによって求められる。

$$S(x_1, x_2, \dots, x_n, Y) = \sum_{i=1}^n U_i(x_i, Y) \quad (2)$$

$$F(X, Y) = 0$$

$$X = \sum_{i=1}^n x_i, \quad Y = Y_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

ここで $F(X, Y)$ は、各エージェントの私的知識 $x = \sum_{i=1}^n x_i$ による共有知識 Y の生産関数（又は交換関数）を表す。（2）式を最適にする Y は、次式によって与えられる。

$$\left(\sum_{i=1}^n (\partial U_i / \partial x_i) \right) / (\partial U_i / \partial x_i) = F_Y / F_X \quad (3)$$

ここで、エージェントの効用関数を加法性を仮定することにより次式で定義する。

$$U_i(x_i, Y) = x_i + V_i(Y) \quad (4)$$

ここで $V_i(Y)$ は、共有知識 Y に対する各エージェントの評価値である。ここで集団全体の支払うコスト $c(Y)$ を考える。各エージェントの初期の私的知識を ω_i として、共有知識形成のためのコストを支払ったあとの、各エージェントの残りの私的知識を x_i とすると、

$$c(Y) = \sum_{i=1}^n \omega_i - \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

となり、（3）式は、

$$\sum_{i=1}^n V_i'(Y) = c'(Y) \quad (6)$$

と変形できる。

次に最適な共有知識 Y^* を形成することによる協調効果を考える。集団が最適な共有知識 Y^* を得たときの効用は、

$$\sum_{i=1}^n U_i(x_i, Y^*) = \sum_{i=1}^n x_i + \sum_{i=1}^n V_i(Y^*) \quad (7)$$

ここで集団として、コストを支払い共有知識を形成したとすると、共有知識を形成しない場合との効用の差を協調効果として定義する。

$$\sum_{i=1}^n U_i(x_i, Y^*) - \sum_{i=1}^n U_i(x_i, 0) = \sum_{i=1}^n V_i(Y^*) - C(Y^*) > 0 \quad (8)$$

次に最適な共有知識 Y^* を形成するための公平なコスト分担法について示す。（3）式は各エージェントがコストを分担することによって、各

Optimal Design of Common Knowledge Shared by Multi-agents

Izumi Norimasa, Ohno Sin and Namatame Akira
Dept. of Computer Science, National Defense Academy
1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka, Kanagawa, Japan

エージェントが受け取る共有知識 Y はどう決まるかを示す条件式となっている。このときの各エージェントの支払うコストを $C_i(Y^*)$ とすると、

$$Cooperator(Y^*) \triangleq C_i(Y^*) = \frac{V_i(Y^*)}{\sum_{i=1}^n V_i(Y^*)} \times C(Y^*) \quad (9)$$

(9) 式は各エージェントのコストの分担ルールを与えることになる。

3. 最適な共有知識レベルと協調効果の例

具体的な例として(4)式で与えた各エージェントの効用関数を、

$$U_i(x, Y) = x_i + 2k_i \sqrt{Y} \quad (10)$$

とする。また、エージェント集団全体のコスト関数 $C(Y)$ を αY とし、(6) 式より Y^* を求めると、

$$Y^* = \left(\frac{K}{\alpha}\right)^2 \quad \left(\because \sum_{i=1}^n k_i = K\right) \quad (11)$$

これを(9)式に代入して、

$$Cooperator(Y^*) = \frac{\sum_{i=1}^n V_i(Y^*)}{\sum_{i=1}^n V_i(Y^*)} - C(Y^*) = \frac{K^2}{\alpha} > 0 \quad (12)$$

を得る。(12)式で求めた協調効果は、 K と α の関数である。すなわち、 K が増加する(すなわち、各エージェントの共有知識に対する評価値が増大する)ことによって協調効果は増加する。また α が増加するとき(つまり共有知識のコストが増加するとき)は、協調効果は限りなく 0 に近づく。すなわち、共有知識のコストを少なくするか、あるいは、集団におけるエージェントを多くすればするほど協調効果は大になる。また、各エージェントのコスト分担は(9)式より、

$$C_i(Y^*) = \alpha \left(\frac{k_i}{K}\right) Y^* \quad (13)$$

(13) 式は、各エージェントのコスト分担を与える。すなわち、各エージェントの共有知識に対する評価値 k_i によってコスト分担に違いが生じる。

ここで、マルチエージェント全体の効用レベルを表す。(2) 式は、

$$S(x_1, x_2, \dots, x_n, Y) = X + 2K\sqrt{(\Omega - X)/\alpha} \quad (14)$$

$$= \Omega - \alpha Y + 2K\sqrt{Y} \quad (\because X = \sum_{i=1}^n x_i) \quad (15)$$

で与えられる。マルチ・エージェント全体の効用関数 $S(X, Y)$ を私的知識 $x = \sum_{i=1}^n x_i$ と共有知識 Y の関数として図1と図2に表す。

4. まとめ

本研究では、自己(私的)知識と共有知識の両方に価値(効用)をもつエージェントの集団にとって、最適な共有知識の形成法について論じた。それぞれのエージェントの効用関数に応じて、エージェント集団として存在する共有知識レベルを求めた。また、より多くのエージェントを集団の中に取り込み、コストはできるだけ減らす方向へ動くことによって最適な共有知識を形成しようとする事がわかった。

5. 参考文献

- [1] [鈴木82] 鈴木興太郎：経済計画論，筑摩書房，1982.
- [2] [Rosenschein94] Rosenschein, J.S. and Zlotkin, G. : Rules of Encounter : Designing Conventions for Automated Negotiation among Computers, The MIT Press, 1994.

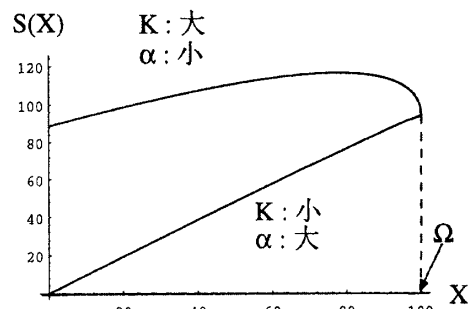


図1 私的知識の関数としてのマルチ・エージェント全体の効用

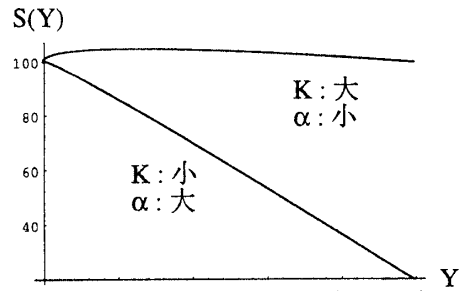


図2 共有知識の関数としてのマルチ・エージェント全体の効用