

## 複数同時交渉のための Hypervolume に基づく協調度

川田 涼平†

藤田 桂英‡

†東京農工大学 工学部 情報工学科

‡東京農工大学大学院 工学研究院 先端情報科学部門

### 1 はじめに

近年、マルチエージェントシステムの研究において、自動交渉が注目されている。自動交渉は実社会においても、異なる効用を持つ人工知能同士を協調させるために必要な機構である [1]。多数のエージェントが存在し、その中の任意のエージェントを交渉相手として選択し、全体で複数の交渉が同時に行われる交渉問題を複数同時交渉問題という。サプライチェーンマネジメントや電力グリッドなど複数同時交渉問題が実施される状況は現実世界の問題に近い設定であるため、自動交渉の分野において重要な課題の一つである。一方、複数同時交渉問題において、すべてのエージェントと交渉することは現実的ではない。そのため、事前に交渉で獲得できる効用を予測することが重要となる。

本論文では、エージェントの効用情報から交渉結果の社会的余剰を予測する指標を協調度 MOC(Measure of Cooperativeness)として定義し、協調度の具体的な計算方法を提案する。さらに、シミュレーション実験により、提案した協調度が交渉結果の社会的余剰について強い相関を持つことを示す。

### 2 複数同時交渉における協調度

#### 2.1 Metric of Opposition Level

遠山らは獲得効用の公平性に基づく合意形成の難易度の指標として MOL(Metric of Opposition Level)を提案している [2]。エージェントの集合  $A$  について、エージェント  $a \in A$  の効用関数を  $U_a$ 、MOL の計算の対象とする合意案候補の集合を  $\Omega$  とすると、MOL は式 (1) で表す。

$$MOL(A, \Omega) = z \sum_{\omega \in \Omega} \sum_{a \in A} (\overline{U(\omega)} - U_a(\omega))^2 \quad (1)$$

$$\overline{U(\omega)} = \frac{1}{|A|} \sum_{a \in A} U_a(\omega), \quad z = \frac{|A|}{|A| - 1} \cdot \frac{1}{|\Omega|}$$

Cooperativeness based on Hypervolume for Multiple Concurrent Negotiation

†Department of Computer and Information Sciences, Faculty of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

‡Division of Advanced Information Technology and Computer Science, Institute of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

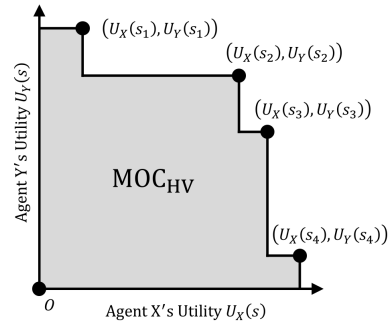


図 1: Hypervolume に基づく協調度の概念図

#### 2.2 Hypervolume に基づく協調度

エージェント間の協調度として、Hypervolume に基づく協調度  $MOC_{HV}$  を提案する。 $MOC_{HV}$  を交渉に参加する各エージェントの効用関数の最大化を目的関数としたときの、パレート最適な合意案候補集合が支配する空間の超体積 (Hypervolume) として定義する。

エージェントの集合  $A$  と全合意案候補の集合  $S$  について、パレート最適な合意案候補  $s^* \in S$  が支配する空間の超矩形  $d_{s^*}$  の集合を  $D$  とすると、Hypervolume に基づく協調度  $MOC_{HV}$  は超体積を求める関数  $HV$  を用いて式 (2) で表す。

$$MOC_{HV}(A, S) = HV \left( \bigcup_{d \in D} d \right) \quad (2)$$

図 1 はエージェント  $X$  と  $Y$  が交渉する場合の Hypervolume に基づく協調度  $MOC_{HV}$  の概念図を示す。パレート最適な合意案候補の集合を  $S^* = \{s_1, s_2, s_3, s_4\}$  とし、 $X, Y$  の効用関数をそれぞれ  $U_X, U_Y$  とすると、 $s^* \in S^*$  が支配する空間は点  $(U_X(s^*), U_Y(s^*))$  と原点  $O$  で定義される矩形となり、全ての  $s^* \in S^*$  が支配する矩形をあわせた部分の面積が  $MOC_{HV}$  の値となる。

#### 2.3 相関係数に基づく協調度

エージェント間の協調度として、相関係数に基づく協調度  $MOC_{CC}$  を提案する。 $MOC_{CC}$  はエージェント間の効用値の相関係数を区間  $[0, 1]$  に正規化したものと定義する。エージェント  $X, Y$  が全合意案候補集合  $S$  について交渉するとき、 $X, Y$  の効用関数をそれぞれ  $U_X, U_Y$

表 1: 協調度と交渉結果の社会的余剰に対する相関係数

論点数	効用の分布	MOC <sub>HV</sub>	MOC <sub>HVRV</sub>	MOC <sub>CC</sub>	MOC <sub>CCRV</sub>	MOL <sub>ALL</sub>	MOL <sub>RV</sub>	MOL <sub>PO</sub>	MOL <sub>RVPO</sub>
3	(a)	0.931	0.876	0.629	0.523	-0.584	-0.180	-0.670	-0.296
3	(b)	0.932	0.909	0.768	0.583	-0.532	0.181	-0.740	-0.038
3	(c)	0.924	0.868	0.662	0.721	-0.373	-0.607	-0.567	-0.615
5	(a)	0.942	0.912	0.629	0.698	-0.367	0.159	-0.665	-0.576
5	(b)	0.946	0.914	0.663	0.643	-0.392	0.541	-0.693	-0.077
5	(c)	0.886	0.872	0.604	0.650	-0.264	-0.213	-0.678	-0.663
7	(a)	0.929	0.911	0.702	0.767	-0.532	-0.204	-0.704	-0.658
7	(b)	0.957	0.947	0.731	0.755	-0.536	0.585	-0.796	-0.255
7	(c)	0.845	0.840	0.572	0.605	-0.329	-0.271	-0.615	-0.605
全体		0.944	0.911	0.539	0.528	-0.501	0.065	-0.783	-0.445

とすると相関係数に基づく協調度 MOC<sub>CC</sub> は相関係数を求める関数 CC を用いて式 (3) で表す。

$$MOC_{CC}(X, Y, S) = \frac{1}{2} (CC(U_X, U_Y) + 1) \quad (3)$$

### 3 評価実験

#### 3.1 実験設定

本評価実験は対象エージェントのすべてのペア、すべてのプロファイルに対して、二者間交渉を実施した際の社会的余剰と各協調度の相関係数を比較する。本実験では自動交渉エージェント競技会 (ANAC) におけるプラットフォーム Genius[3] を使用した。交渉エージェントは ANAC2016 の上位 3 エージェント (Caduceus, YXAgent, ParsCat) を使用する。交渉時間は最大 10000Round とし、各エージェントとプロファイルの組み合わせにつき 1 回ずつ、二者間交渉を行うこととする。また、実験で評価する協調度を以下に示す。

- MOC<sub>HV</sub> : Hypervolume に基づく協調度
- MOC<sub>HVRV</sub> : 留保価格以上の効用の合意案候補の MOC<sub>HV</sub>
- MOC<sub>CC</sub> : 相関係数に基づく協調度
- MOC<sub>CCRV</sub> : 留保価格以上の効用の合意案候補の MOC<sub>CC</sub>
- MOL<sub>ALL</sub> : 全合意案候補の MOL
- MOL<sub>RV</sub> : 留保価格以上の効用の合意案候補の MOL
- MOL<sub>PO</sub> : パレート最適な合意案候補の MOL
- MOL<sub>RVPO</sub> : パレート最適かつ留保価格以上の効用の合意案候補の MOL

様々な特徴を持つドメインにおいて評価を行うために、論点数と各合意案候補の効用の分布を変えた 9 つの交渉ドメインを対象とした。各ドメインは 20 のプロファイルがあり、論点数は 3, 5, 7 の 3 通りである。各論点の選択枝数はすべて 5 とした。効用の分布は選択枝の評価値の決め方を (a):[0, 1) の一様乱数, (b):[0, 1) の一様乱数の 2 乗, (c):1 と [0, 1) の一様乱数の 2 乗の

差の 3 通りとした。(b) は最大値に近い効用の合意案候補があまり存在せず、(c) は最大値に近い効用の合意案候補が多く存在する。すべてのドメインで留保価格は 0.5 とし、割引効用は設定しなかった。

#### 3.2 実験結果

すべての交渉における社会的余剰と各協調度の相関係数を表 1 に示す。すべてのドメインにおいて提案手法の Hypervolume に基づく協調度 MOC<sub>HV</sub> が最も強い相関を示していた。また、有意水準 5% の t 検定により、他の手法と比べ MOC<sub>HV</sub> が社会的余剰に対し有意に強い相関を持つことが確認された。これは、Hypervolume を用いることで、協調度の計算において重要となるパレートフロント付近に協調的な合意案が存在する場合に高く評価していることが有効であると考えられる。

### 4 まとめ

本論文では、エージェントの効用情報から社会的余剰を予測する指標として Hypervolume を用いる手法と相関係数を用いる手法を提案した。さらに、評価実験によって提案手法の MOC<sub>HV</sub> が社会的余剰を予測する指標として有用であることを示した。今後の課題として、提案手法がエージェントの効用情報がすべて公開されることへの対応が考えられる。

#### 参考文献

- [1] 産業競争力懇談会. 人工知能間の交渉・協調・連携. <http://www.cocn.jp/thema98-M.pdf>, 2017.
- [2] 遠山 竜也 and 伊藤 孝行. Multilateral Closed Negotiation Problem における合意形成の難易度評価のための定量的指標の提案. In *Joint Agent Workshop and Symposium2017(JAWS2017)*, 2017.
- [3] Raz Lin, Sarit Kraus, Tim Baarslag, Dmytro Tykhonov, Koen Hindriks, and Catholijn M. Jonker. Genius: An integrated environment for supporting the design of generic automated negotiators. *Computational Intelligence*, 30(1):48–70, 2014.