

文献紹介

Kraus, S., Wilkenfeld, J. and Zlotkin, G.: Multiagent negotiation under time constraints, *Artif. Intell.*, Vol. 75, pp. 297-345 (1995).

本論文は、複数の自動化されたエージェントが資源割当てやタスク分配に関して交渉を行うときに、効率良く合意に到達する方法を述べている。問題設定の特徴は、交渉自体が高価で時間を浪費し、それがエージェントの効用を減少させるとする点である。このとき、つまり、効用が合意案の内容と合意に要した時間で決まるときに、交渉に多くの時間を消費せずに合意到達を可能とする交渉戦略を著者らは提案した。この交渉戦略の考え方はゲーム理論を基礎としている。

なお、著者の Kraus は、1995 年度 IJCAI Computers and Thought 賞受賞者の一人である。

交渉とは、エージェント間に競合が存在するときに、相互に有益な合意に達するよう通信し、妥協するための手段である。これは、マルチエージェント環境で、エージェントが他者と有効に相互作用するための重要な能力であり、分散人工知能分野の主要テーマの一つとなっている。交渉の例題として、火星と地球間の通信回線割当て問題と時事通信の配達問題が扱われる。これらは、交渉時間が長くなると、合意形成による利益が消失する問題領域に属する。

本論文では、エージェントが交互に提案と対案提示を繰り返し、提案された側が同意すれば交渉過程が終了する交互提案(Alternating Offers)のモデルが用いられる。以下に示す5章に分けて、おのおの効用関数の性質が仮定され、それら仮定のもとで成り立つ補題や定理が示される。エージェントが合理的であり、効用の最大化を目指すことは、各章で共通している。3章では、2 エージェント間で、相手の効用関数の完全な情報を持ち、資源が連続的に分割可能な場合の交渉が扱われる。4章では、3章の議論をもとに、エージェントが交渉を途中でやめて単独でタスクの実行を行う選択が追加され、資源が離散的にしか分割できない場合が扱われる。5章では、4章の議論をもとに、一方のエージェントがすでに資源を使用中で、他方が待機している場合が扱われる。6章では、相手の効用関数の完全な情報を持たない場合が扱われる。7章では、4章の議論

をもとに、2 エージェント以上の間の交渉が扱われる。

各章の議論の結果から、交渉のオーバーヘッドを減少する交渉戦略の存在が示される。この交渉戦略に双方が従うならば、1 回目の提案で、あるいは多くても2 回目の提案で合意に達する。合意案を見ると、資源割当て問題では、時間の経過に対して寛容なエージェントのほうがより多くの資源を獲得することがわかる。

なぜ、1~2 回目の提案で合意に達するのか？ これは戦略が部分ゲーム完全均衡(subgame-perfect equilibrium)戦略であることによる。この完全均衡はゲーム理論の概念であり、同じく均衡の概念である Nash 均衡より強いものである。各時点での提案が、それ以降の提案で相手が獲得可能な効用より、小さくない効用を相手に与えるなら、その提案を相手は受け入れる。そのような提案のなかで自己の効用を最大にする提案を選択する。これを将来の時点から現時点に後ろ向きで順に計算する。すると、双方ともこうして求めた案が提示されればそれに従い、かつお互い変更する動機を持たなくなる。一方がこの完全均衡に属する戦略を用いれば、提案を拒否しても、将来の効用が増加しないことがわかるため、相手もこの戦略に従うようになる。

3章の結果は Rubinstein の研究に基づいているが、4章以降は著者ら独自の成果である。

著者らは交渉プロトコルの評価基準として、分散性、即時性、効率性、単純性、安定性、対称性、充足性をあげている。本論文で提案された戦略はこれらの多くを満足するものである。

論文では最後に実装に触れられる。実問題では、戦略の計算に多くの時間を要する。著者らの対策は、あらかじめ各戦略に対して計算されたライブラリを用意しておき、相手の戦略を同定して、こちらの戦略を決定するものである。ゲーム理論における合理性を実システムではどう処理するかが、本研究の適用可能性を決定することになる。

(松原 繁夫(NTT コミュニケーション科学研究所))