

サプライチェーンにおけるゲーム論的企業間交渉に関する研究

01501824 神戸大学 *藤井進 FUJII Susumu
01109744 神戸大学大学院 貝原俊也 KAIHARA Toshiya
神戸大学大学院生 宮本良平 MIYAMOTO Ryohei

1 はじめに

80年代にその理論的骨組みが確立された従来型のSCMはある程度製品フローが限定されたEDIベースの企業間商取引を対象としているため、現在の電子商取引を基本とする多フロー型企業間商取引には必ずしも有効とはなっていない[1]。この状況を受けて欧米を中心に、競争力を持つ企業が集合して企業活動を行うバーチャルエンタプライズ概念が誕生し[2]、バーチャルエンタプライズによって経営の効率化が期待されている。そこで本研究では、簡単なバーチャルエンタプライズモデルを対象に、マルチエージェントプログラミング[3]を基本として、ゲーム理論[4]や学習アルゴリズム[5]を適用した企業間交渉のアルゴリズムを提案する。そしてシミュレーション実験により、提案手法と最終的に形成されるバーチャルエンタプライズ特性との関係について解析を行う。

2 バーチャルエンタプライズモデル

2.1 基本モデル

バーチャルエンタプライズにおいて企業が提携する場合、双方の企業の合意が得られなければならない。しかし、各企業の目的が異なる場合、直ちに合意が得られるとは限らない。この場合、企業間での交渉が行なわれる。そして、各企業が互いに満足するまで交渉を繰り返すことにより最終的に合意が得られ、提携が結ばれる。本研究ではバーチャルエンタプライズを計算機上で構築し、適切な企業間交渉アルゴリズムを提案するためのシミュレーションを行なう。

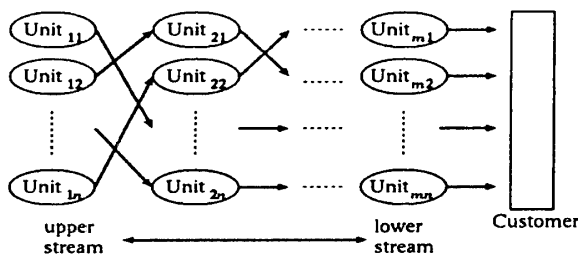


Fig.1 Virtual enterprise model

バーチャルエンタプライズでは調達、加工、組み立て、搬送、販売などの各工程をそれぞれ異なる有力企業が担当し、サプライチェーンを形成する。それをモデル化した図をFig.1に示す。Fig.1において左側を上流(上工程)、右側を下流(下工程)とする。右端が最終消費者に相当し、その他がサプライヤに相当する。サプライヤは上流から順に第1,2,...,m層とし、各層を担当するサプライヤ(ユニット)の個数をn個とする。

本研究では、Fig.1における個々のサプライヤをエージェントと考える。エージェント間の交渉を通じて提

携相手を決定し、バーチャルエンタプライズモデルを形成する。現実社会の企業間交渉同様、エージェント間の交渉は隣接する前後の層とのみ行うものとする。エージェント間の交渉には、マルチエージェントプログラミングの問題解決法の1つである契約ネットプロトコル(CNP:Contract Net Protocol)[6]を適用する。

2.2 契約ネットプロトコル

契約ネットプロトコル(CNP)は、人間の契約行為を模倣したアルゴリズムである。このプロトコルにおいてエージェントは、契約を提案しタスクを割り当てるマネージャと、実際にタスクを処理するコントラクターのどちらかの役割を担当する。契約ネットプロトコルの基本手順は以下に行なわれる。

- Step1 タスクが発生するとマネージャがコントラクターにタスクアナウンス
- Step2 タスクアナウンスを受けたコントラクターは、契約を希望する場合マネージャに入札
- Step3 あらかじめ決められた入札期限になると、マネージャは入札を行なった複数のコントラクターから、適した入札を行なったものを選択し、落札
- Step4 落札されたコントラクターは、タスクを処理

Fig.1では、交渉の際上流のエージェントがコントラクター、下流のユニットがマネージャに相当する。

2.3 ゲーム理論

前述した契約ネットプロトコルに従って交渉を行なう際、マネージャが複数のコントラクターから落札者を決定するための意思決定方法が必要となる。本研究ではマネージャの意思決定方法としてゲーム理論の適用を考える。本研究では、ゲーム理論の基本戦略であるマクシミニ戦略をベースに、混合戦略までを含んだ解法を試みる。

- マクシミニ戦略：複数の戦略のうち、自分の効用が最悪となる場合を仮定し、その時の効用が最大となる戦略を1つ選択する方法
- 混合戦略：純粋戦略が、確定的にある特定の行動を選択する戦略であるのに対し、ある確率分布にしたがって行動を選択する戦略のこと。一般に、純粋戦略は混合戦略の特殊な場合と考えることができる。

ここで、マクシミニ戦略は最悪の場合の効用最大を目的としているため、CNPにおけるマネージャの落札に適用することにより、リスクの少ないバーチャ

ルエンタプライズが構築できると考えられる。このことは、リスクの少ない安定した経営を目指す企業の目的に合致していると考えられる。

3 対象モデルと実験結果

3.1 多品種単一目的モデル

3.1.1 モデル化と利得行列

ここでは、製品の種類が複数であり、価格を交渉の対象とする多品種単一目的モデルを扱う。前章で示したFig.1において、層の数を3、各層のユニットの数を3としたモデルを対象とする。このバーチャルエンタプライズではA、B、Cの3種類の製品を生産するものと仮定する。提携のための企業間交渉は契約ネットプロトコルに従って行われる。

各ユニットは、各製品を生産したときの利益を提携相手別に算出し利得行列を作成する。第 m 層のユニット n が下流のユニットに提示した製品 X の売却価格 $P_{m,n}(X)$ と、第 $m-1$ 層のユニット k に提示された製品 X の購入価格 $P_{m-1,k}(X)$ との差を利益 $profit_{k,X}$ とする。第 m 層のユニット n の利得行列は次のようになる。

第 $m-1$ 層	製品A	製品B	製品C
Unit1	$profit_{1,A}$	$profit_{1,B}$	$profit_{1,C}$
Unit2	$profit_{2,A}$	$profit_{2,B}$	$profit_{2,C}$
Unit3	$profit_{3,A}$	$profit_{3,B}$	$profit_{3,C}$

利得行列を混合戦略まで考えたマックスミニ戦略にて解くと、獲得利益が最小となる製品発生割合において獲得利益が最大となる提携確率が算出される。

3.1.2 実験結果

上記のモデルを用いて計算機実験を行ない、混合戦略まで考えたマックスミニ戦略の有効性を検証する。なお、シミュレーション条件は以下のとおりである。

Unit $_{2k}$ における製品A,B,Cの価格	: 70~130
Unit $_{1k}$ における製品A,B,Cの価格	: 40~80
タスク1つあたりの製品個数	: 10~20
タスクの数	: 100

製品価格は一様乱数で与えられる。タスクは、各製品をそれぞれ何個といった形で一様乱数により指定される。製品A、B、Cの発生割合を変えてシミュレーションを行ったときの第2層のユニット1の利益をTable 1に示す。

3.1.3 考察

Table 1より、混合戦略による選択方法の方がランダムと比較して標準偏差がかなり小さくなっていることが分かる。この結果から、混合戦略まで考えたマックスミニ戦略によって得られた値を用いて提携相手を選択した場合、製品の割合が変化しても利益が大きく変わることなく安定して一定金額を得られることが確認された。これは混合戦略により製品の割合が最悪の

Table 1 Comparison between Two Award Method

production ratio	mixed strategy	random
1:1:1	13409	13583
2:7:4	13224	12877
8:1:1	13342	12504
3:2:6	13265	13796
average	13310	13183
st.dev.	82.15	593.88

場合の利益が最大化されるために利益のばらつきが小さくなったと考えられる。なお平均値については選択方法の違いによる際だった差異は見られなかった。

3.2 その他のモデルと結果

本研究では、上述の多品種単一目的モデル以外に、以下のモデルについてもエージェントの意思決定に対してゲーム理論を適用した交渉モデルを定式化し、多品種単一モデルと同様にその特性評価を行った。なおこれらの結果および考察の詳細については、紙面の都合上、大会当日に詳しく報告する。

- 単一品種多目的モデル
- 適応型学習に基づく繰り返し交渉モデル

4 まとめ

本研究では、バーチャルエンタプライズにおいて、CNPに基づくゲーム理論を適用した企業間交渉アルゴリズムを提案した。そして、基本的な小規模モデルを用いてシミュレーションを行い、ゲーム理論を適用したことによるバーチャルエンタプライズへの影響の一部を考察した。さらに、個々のユニットに適応型学習を適用することにより生じるシステム全体への有益性を示唆した。今後、 n 人ゲームなどのより複雑なゲームを扱うとともに、他の学習方法を適用した場合との違いを比較したい。

参考文献

- [1] 例えば、「特集 サプライチェーン戦略/バリューチェーン再構築」、ハーバード・ビジネス、No.10/11, 1998.
- [2] H.Afsarmanesh and L.M.Camarinha-motos, The virtual enterprise concept, Kluwer Academic, London, 1999.
- [3] 石田 亨, エージェントを考える, 人工知能学会誌, Vol.10, No.5, pp.663-667, 1995.
- [4] 西田 俊夫, ゲームの理論, 日科技連, 1973.
- [5] 山村 雅幸, 宮崎 和光, 小林 重信, 強化学習の特徴とその発展の方向, システム制御情報学会誌, Vol.39, No.4, pp.191-196, 1995.
- [6] R.G.Smith, The Contract Net Protocol, IEEE Trans. on Computers, Vol.29, No.12, pp.1104-1113, 1991.