

組合せダブルオークションによる クラウドソースドマニュファクチャリングの実現*

神戸大学 ○原田 佳明, 貝原 俊也, 国領 大介, 藤井 信忠

1. はじめに

近年IoT (Internet of Things) の発展に伴い, 工場や製造機器をインターネット上に繋ぐことにより生産性を向上させること動きが活発化している. また, 同一企業や工場内だけでなく, 企業の壁を超えたつながりを利用した生産に注目が集まっており [1], その中でIoT環境下において複数の工場や複数の企業をつなぎ設備・材料・労働力・工法を融通し合う生産形態であるクラウドソースドマニュファクチャリングと呼ばれる生産形態が提案された [2]. クラウドソースドマニュファクチャリングを形成することにより, リソースが不足した処理や, 自社にはないリソースを使用する処理をつながら他企業に委託することで, 顧客ニーズに合わせたカスタム生産を低コストで実現可能となる [3]. クラウドソースドマニュファクチャリングにおいて必要とされているのが独立した企業群においても合理的なリソース配分の仕組みが重要となる [4].

そこで本研究ではリソースの提供企業のコストと要求企業の予算を基にした評価値を考慮し, リソースの配分と取引価格を決定することができる組合せダブルオークションに着目する. また, 独立した企業の集まりであるクラウドソースドマニュファクチャリングにおいて, リソースの配分と取引価格は参加企業が申告する評価値に基づくので, その評価値を正直に申告して貰う必要がある. その為個々の参加者にとって, 正直な評価値の申告が各企業の支配戦略となるオークションの設計が重要となる. このようなオークションを耐戦略性のあるオークションと言う. 本研究においても各参加企業の正直な評価値をオークション主催者が知るために, 耐戦略性のある組合せダブルオークションの提案を目指す.

2. 対象モデル

本稿の対象とするクラウドソースドマニュファクチャリングモデルの概要をFig.1 に示す. リソースを要求する企業をリソース要求側, リソースを提供する企業をリソース提供側とする. 以下にその特徴を示す.

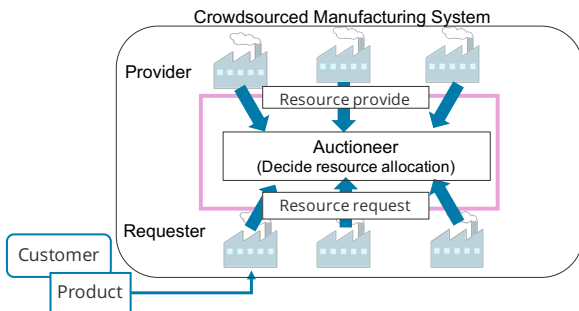


Fig. 1 Crowdsourced Manufacturing model

- 対象とする製品は, 工程毎に分割可能とする
- 各企業のリソースの管理と配分を決めるオークション主催者が存在する.
- 顧客からのオーダーは各企業に対して行われる.
- 各企業は出来ない処理がある場合に, 必要なリソースとその量をオークション主催者に対し要求する.
- リソース要求企業はリソースが提供されれば, 製品の生産を行う.
- 各企業は空いているリソースがあればオークション主催者に提示し, リソースを提供する.

3. 提案手法

リソースの要求に対して, 提供リソースを割当てるため組合せダブルオークションに基づく提案手法について説明する. 以下の[Ts]はタイムスロットを示す. 提案手法の流れは以下の通りであり, 次節以降でその詳細を述べる.

- STEP1. リソース提供企業とリソース要求企業は入札を作成し, オークション主催者に提出する. (入札作成)
- STEP2. オークション主催者は, 評価値の合計が最大となる入札を決定する. (勝者決定)
- STEP3. 各企業はオークションの結果に応じ, 定められた取引価格において取引を行う. (取引価格決定)

3.1. 入札作成

リソース提供企業($i = 1 \dots I$)の入札について以下で説明する. また, I を提供企業の集合とし, $|I| = I$ とする.

- 提供するリソース r のコスト $c_{i,r}$ と提供時間 $TP_{i,r}$ からなる R 個の入札を作成
 - 提供時間の一部のみを提供することが可能である
- 次にリソース要求側($j = 1 \dots J$)の入札について説明する. また, J を要求企業の集合とし, $|J| = J$ とする.
- 入札 n において予算 $v_{n,j}$ と要求するリソース r の要求時間 $TR_{j,n,r}$ を提示する
 - 各企業は N 個の入札を作成
 - ただし勝者となる入札は1つ
 - 全てのリソースをそろえ製品の生産ができるよう必要なリソースの組合せに対して入札を作成

3.2. 勝者決定と取引価格決定

前節の入札を元に勝者の決定, つまり割り当ての決定と取引価格を決定する. その際に評価値を正直に申告することが支配戦略となる勝者決定方法と取引価格決定方法にする必要がある.

3.2.1. 勝者決定問題の定式化

組合せダブルオークションの勝者決定問題は, 組合せ最適化問題として定式化される. 式(1)~(5)にその定式化を示す. またこの問題を $P(I, J)$ とする.

$$\max V(I, J) = \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N v_{j,n} \times y_{j,n} - \sum_{i=1}^I \sum_{r=1}^R \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N c_{i,r} \times TR_{j,n,r} \times x_{i,r,j,n} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N TR_{j,n,r} \times x_{i,r,j,n} \leq TP_{i,r} \quad (\forall i, \forall r) \quad (2)$$

$$\begin{cases} x_{i,r,j,n} = 0 \ (\forall i, \forall r) \ (\text{if } y_{j,n} = 0) \\ \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N TR_{j,r} \times x_{i,r,j,n} = TR_{j,n,r} \ (\forall i, \forall r) \ (\text{if } y_{j,n} = 1) \end{cases} \quad (3)$$

$$\sum_{n=1}^N x_{i,r,j,n} \leq 1 \ (\forall i, \forall r, \forall j) \quad (4)$$

$$\sum_{n=1}^N y_{j,n} \leq 1 \ (\forall i, \forall r, \forall j) \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{r=1}^R PAY_{i,r,j,n} \leq v_j \ (\forall j, \forall n) \quad (6)$$

$$x_{i,r,j,n}, y_{j,n} \in \{0,1\} \quad (7)$$

式(1) は目的関数であり、総利益最大化とする。ダブルオークションは、提供側、要求側双方の評価値を元に配分を決定することができるので、リソースの提供企業、要求企業の双方の利益を考慮できる。式(2)は提供企業 j のリソースの容量制約である。式(3)は要求側の組合せに関する制約である。リソース要求企業のある入札に関して、その入札が選ばれる場合はその全てのリソース要求が満たされる、またはその入札が選ばれない場合はどのリソース要求も満たされないとするための制約である。式(4)と式(5)は要求企業 j の入札のうち勝者となる入札は高々1つとする制約である。式(6)は企業 j の予算制約である。式(7)の $x_{i,r,j,n}$ は企業 i と企業 j が要求 n においてリソース r を取引するとき1、しないとき0となる決定変数、 $y_{j,n}$ は企業 j の要求 n が選ばれるとき1、選ばれないとき0となる決定変数である。

3.2.2. 組合せダブルオークションにおける

耐戦略性と取引価格について

3.2.1 節の勝者決定問題は汎用ソルバーを用いて最適解を求めることができる。しかし、ダブルオークションに環境下において、パレート効率性、オークション主催者を含めた個人合理性を満たすオークションメカニズムは存在しないことが示されている [5]。例えば、耐戦略性、個人合理性、パレート最適性を満たすことで知られる VCG (Vickrey-Clarke-Groves) [6] メカニズムはダブルオークション環境下において全体合理性を満たすことができず、オークション主催者の個人合理性が満たせない。つまり買い手側が支払う価格の合計より、売り手側が受け取る額の合計が大きくなりオークション主催者が負債を抱えてしまう。本研究において前節の勝者決定問題の最適解を求めることが出来たとしても、耐戦略性を満たす取引価格決定を行うと全体合理性が成り立たなくなってしまう。そこで本研究では、パレート効率性を諦めることで、耐戦略性を満たすことができる Padding Method を用いた手法を提案する [7]。

Padding Method は仮想的な要求を用意することで、均衡価格を引き上げ、買い手の支払い額の合計を高めることで、全体合理性を満たすように調整を行う手法である。以下にその適用方法の概要を示す。

STEP1. 勝者決定問題 $P(I, J)$ に対して、仮想的な要求 $Q = \{Q_1, \dots, Q_R\}$ を考慮した新たな問題 $P(I, J, Q)$ を作成する。問題 $P(I, J, Q)$ は問題 $P(I, J)$ の式(3)を以下の式(8)で置き換えたものである。

$$\begin{cases} x_{i,r,j,n} = 0 \ (\forall i, \forall r) \ (\text{if } y_{j,n} = 0) \\ \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N TR_{j,r} \times x_{i,r,j,n} + Q_r = TR_{j,n,r} \ (\forall i, \forall r) \ (\text{if } y_{j,n} = 1) \end{cases} \quad (8)$$

STEP2. 問題 $P(I, J, Q)$ の最適解を求め、それにより勝者となる要求側の入札を決定する。

STEP3. 要求企業 j の支払い価格を式(9)に従って求める。

$$v_{j,n} = (V(I, J, Q) - V(I, J \setminus \{j\}, Q)) \quad (9)$$

STEP4. STEP1 において勝者となった買い手の集合 \tilde{I} と元々の売手の入札から新たな勝者決定問題 $P(\tilde{I}, J)$ を作成し、最適解を求める。問題 $P(\tilde{I}, J)$ は問題 $P(I, J)$ において、 I を \tilde{I} に置き換え、敗者となった入札に関して $y_{j,n}$ の値を $y_{j,n} = 0$ とした問題である。

STEP5. $P(\tilde{I}, J)$ の最適解を求め、勝者となる提供企業を決定し、提供するリソースと量を決定する。

STEP6. 提供企業 i のリソース r を提供することで受け取る価格を式(10)で決定する。ただし、 $\text{Sum}T_{i,r}$ は、企業 i がリソース r を実際に提供する時間とし、 $p_j(I, J, Q)$ は問題 $P(I, J, Q)$ において、問題の結果が $\text{Sum}T_{i,r} = TP_{i,r}$ となる提供企業 i のリソース r に関して、 $\text{Sum}T_{i,r} = TP_{i,r}$ となる為の上界値とする。

$$c_{i,r} \times \text{Sum}T_{i,r} + \tilde{V}(I, J) - \tilde{V}(I|_{c_{i,r} = p_j(I, J, Q)}, J) \quad (10)$$

本研究において上記のように Padding Method の適用を行い、耐戦略性を満たす手法の提案を行う。アルゴリズム詳細の説明と仮想的な要求 Q の決定方法、実験結果の発表は講演にて行う。

4. まとめ

本論文では、クラウドソースドマニファクチャリング環境下におけるリソース配分方法として、耐戦略性を考慮した組合せダブルオークションを用いた手法を提案した。今後の方針としては、オークション主催者の利益の考慮、複数期のオークションへの拡張を行いたい。

参考文献

- [1] IVI, “つながる!ものづくり,” 9 12 2017. [オンライン]. Available: <https://www.iv-i.org/faq.html>.
- [2] IEC, “Factory of the future,” 2 10 2017. [オンライン]. Available: <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-futurefactory-LR-en.pdf>.
- [3] 勝村 義輝, “管理付エージェント型シミュレーションを用いたクラウドマニファクチャリングの生産性評価方法,” 日本機械学会論文集 vol.83, No.848, 2017.
- [4] D. Wu, “Cloud manufacturing: Strategic vision and state-of-the-art,” Journal of Manufacturing Systems 32, 2013.
- [5] S. Ohseto, “Strategy-proof and efficient allocation of an indivisible good on finitely restricted preference domains,” International Journal of Game Theory 29, 2000.
- [6] W. Vickrey, “COUNTERSPECULATION, AUCTIONS, AND COMPETITIVE SEALED TENDERS 16,” The Journal of Finance, 1961.
- [7] L. Y. Chu, “Truthful Bundle/Multiunit Double Auctions 55(7),” Management Science, 2009.