

早稲田大学大学院情報生産システム研究科

# 博士論文審査結果報告書

## 論 文 題 目

Study on Bidding Strategies using  
Genetic Network Programming

申 請 者  
**Chuan YUE**

情報生産システム工学専攻  
ニューロコンピューティング研究

2012 年 7 月

電子オークションシステムの進展に伴い、最適な入札を入札者の代理人であるエージェントに代行させる研究が、最近、人工知能の一分野であるソフトコンピューティングを用いて行われている。

電子オークションシステムは大きく次の二つに分類できる。ひとつは、複数の買い手が複数の商品に対して上昇型の入札を行う **Multiple Round English Auction(MREA)**、別のひとつは、複数の買い手と売り手がそれぞれ上昇型および下降型の入札を複数の商品に対して行う **Continuous Double auction(CDA)**である。

従来、これらのオークションシステムに対して、ヒューリスティックスや数式をエージェントに実装する方式 (**ZI-U**, **ZI-C** by Gode in 1993, **CP** by Preist in 1999, **GD** by Gjerstad in 1998, **Tactic** by Anthony in 2003) が検討されてきたが、入札ステップごとに入札価格が変動する動的なオークションシステムでは優れた入札戦略が得られていない。また、遺伝的アルゴリズム (**GA**) や遺伝的プログラミング (**GP**) などでは、遺伝子の表現能力が不足するため、いまだに適切かつ十分な検討が行われていない。

本論文では、**MREA** と **CDA** に対して、**GA** や **GP** より一般的に優れた特性を持つ遺伝的ネットワークプログラミング (**Genetic Network Programming, GNP**) を用いて入札戦略を構築し、これをエージェントに実装する方式を提案し評価している。具体的には、基本的なオークションモデルで提案方式のシミュレーションを行い、提案方式が従来方式より商品獲得数および獲得利益の点で優れていることを明らかにしている。

第1章では、本論文で対象とするエージェントベースのオークションシステム (**MREA** および **CDA**) の概要について述べ、オークションの入札戦略の構築に有向グラフ遺伝子を持つ **GNP** が有効であるという着想に至った経緯および期待できる効果を従来方式と比較しながら述べ、本論文の内容を要約している。

第2章では、オークションシステムの構成 (**Private Price**: 買い手および売り手の商品に対する売買希望価格、**Final Price** : 買い手および売り手で合意した最終価格、**Common Price**: 商品の一般的共通認識価格、**Outstanding Bid(OB)**: 買い手の最高入札価格、**Outstanding Ask(OA)**: 売り手の最低入札価格、入札ステップ: 買い手および売り手が入札を行うステップ、ラウンド: 1商品を入札するための入札プロセス、など) に照らして適切な適合度関数の決定を行っている。また、**MREA** の入札決定方式 (買い手の入札が数ステップ生じない場合、入札ステップがその上限に達した場合) および **CDA** の入札決定方式 (買い手の **OB** が売り手の **OA** を超えた場合) が、オークションシステムの入札戦略に重要であることを指摘している。

第3章では、**GNP** を使用して入札戦略を決定する **MREA** の基本方式とその評価結果に関して述べている。最初に、**GNP** では判定ノードと処理ノードの最適な組み合わせで、**IF THEN** ルールを構築できるため、**GNP** がオークションシステ

ムの最適な入札戦略の構築に有効であることを明らかにしている。このためには、判定ノードと処理ノードの設計がきわめて重要である。判定ノードに関しては、**OB**, **Private Price**, 価格履歴、現入札ステップ数、総ステップ数、入札成功頻度などが最適な入札戦略の構築の要であることを示している。また、処理ノードに関しては、2種の価格上昇入札、現入札ステップでは入札せず、現商品のオークションラウンドからの離脱などが入札戦略の構築に重要であることを示している。さらには、商品をできるだけ多く獲得できるように適合度関数に各商品の **Common Price** を追加する方式を提案している。

シミュレーションでは、10個の商品に対して **GNP** を実装した7個のエージェントが参加するオークションを行っている。ここでは、エージェントの進化の効果を明らかにするため、自分エージェントは1000世代進化し、他の6個のエージェントは、1, 5, 10, 100世代のみ進化させ、自分エージェントと他のエージェントとの比較を行っている。また、入札ステップ数に上限が存在する場合と存在しない場合、自分エージェントの **Private Price** が最低の場合（一番貧しい場合）とそうでない場合の比較も行っている。

シミュレーションの結果、入札ステップ数に上限がある場合には、最終入札ステップで大幅な価格上昇入札を行い低価格で商品を獲得すること、また、自分エージェントが一番貧しくても希望する商品の獲得の可能性があるなどの普遍的知見を得ている。

第4章では、買い手の商品に対する態度、たとえば、希望商品獲得やバーゲン商品探索などを **MREA** に導入する方式を提案し評価している。具体的には、商品に対する態度を考慮した適合度関数を用いた **GNP** を実装したエージェントと **Tactic** 方式による他の9個のエージェントがオークションを行うシミュレーションを行っている。その結果、提案方式は買い手の商品に対する態度を考慮しない **MREA** に比較し商品獲得数が約12%増加することを明らかにしている。

第5章では、**GNP** を使用して入札戦略を決定する **CDA** の基本方式とその評価結果に関して述べている。**MREA** と同様に、**GNP** の判定ノードと処理ノードの設計がきわめて重要であるため、ヒューリスティックルール(買い手：入札が頻繁に発生する場合には、利益を多く獲得するために前ラウンドの **Final Price** より少し低めの入札を行う、そうでない場合には、確実に商品を獲得するために **Private Price** に近い高い価格の入札を行う、売り手：入札が頻繁に発生する場合には、利益を多く獲得するために前ラウンドの **Final Price** より少し高めの入札を行う、そうでない場合には、確実に商品を売却するために **Private Price** に近い低い価格の入札を行う)を提案している。具体的には、上記のヒューリスティックルールに従い、**Basic Price**(ラウンドごとの初期価格)と **Target Price**(ラウンドごとの目標価格)を設定し、これを判定ノードと処理ノードで使用する方式を提案し評価している。また、きめ細かい入札価格を求めるために、処理ノードで決定する入札価格を微調整する修正ノード付き **GNP** を提案し評価している。

シミュレーションでは、買い手サイドと売り手サイドにそれぞれ 5 個のエージェントが参加し、売り手エージェントの商品数を 10 個に固定し、買い手エージェントの購入希望商品数を 4 個から 16 個へと変化させた場合（買い手サイドの 1 個は GNP エージェント、他の 4 個は ZI-C, ZI-U, CP および GD エージェント、売り手サイドはすべて ZI-C エージェント）、また、買い手エージェントの商品数を 10 個に固定し、売り手エージェントの売却希望商品数を 4 個から 16 個に変化させた場合（売り手サイドの 1 個は GNP エージェント、他の 4 個は ZI-C, ZI-U, CP および GD エージェント、買い手サイドはすべて ZI-C エージェント）のオークションを実施し提案方式の評価を行っている。その結果、特に需要が供給を上回る場合に提案方式が従来の ZI-C, ZI-U, CP および GD 方式より獲得利益の点で非常に優れていること（約 2 倍の利益）を明らかにしている。また、需要が供給を上回る場合には修正ノードの導入により獲得利益が約 11% 増加することを示している。

第 6 章では、第 5 章の CDA 基本方式を大規模 CDA に適用できるように拡張し評価している。前章では固定していた判定ノードの判定分岐パラメータを進化により最適化する方式、および、前ラウンドの最終価格を考慮した新たな 3 種の判定ノードを提案し、大規模な（固定商品数を 100 個、購入(売却)希望商品数を 60 個から 140 個へと変化）CDA により評価している。その結果、拡張した GNP エージェントの獲得利益が前章の GNP エージェントに比較し約 3% 向上することを明らかにしている。

第 7 章では、本論文で提案し評価を行った GNP を基にしたオークション入札戦略の構築に関する研究成果を総括している。

以上、本論文では代表的な 2 種類のオークション (MREA と CDA) に対して、GA や GP と異なる有効グラフ遺伝子を持つ遺伝的ネットワークプログラミング (Genetic Network Programming, GNP) により入札戦略を構築する方式を提案し、その有効性を基本的なオークションモデルを使用したシミュレーションで明らかにしている。従って、実問題に展開していくための基礎となるアルゴリズムを提案している点で、今後の進化論的オークション入札戦略の構築に寄与するところが大である。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。

2012 年 6 月 27 日

主査	早稲田大学	教授	博士(情報工学)	(九州工業大学)	古月敬之
	早稲田大学	教授	工学博士	(早稲田大学)	吉江修
	早稲田大学	教授	博士(工学)	(早稲田大学)	藤村茂
	早稲田大学	名誉教授	工学博士	(九州大学)	平澤宏太郎