

クオートドリブン市場におけるマーケットメーカーの戦略最適化

Strategy Optimization of Market Makers for Quote-Driven Markets

中村 覚 佐久間 淳 小林 重信 小野 功
Satoru Nakamura Jun Sakuma Shigenobu Kobayashi Isao Ono

東京工業大学大学院総合理工学研究科

Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

In this paper, we define the strategy acquisition problem of market makers (MMs) for quote-driven markets as a multi-objective optimization problem where the rate of contract in the market is maximized and the absolute value of MM profit is minimized at the same time. The MM strategy adopted in this paper determines its quotation prices proportional to its position. This strategy has three system parameters, which are optimized by a multi-objective real-coded genetic algorithm. We compare the performance of the quote-driven market with the MM obtained by MORCGA with that of the order-driven market.

1. はじめに

現実市場はオーダードリブン市場とクオートドリブン市場に大別される。オーダードリブン市場では、一般トレーダー側の注文執行タイミングに不確実性が存在する。一方、クオートドリブン市場はマーケットメーカーとよばれる証券会社が、気配値とよばれる売買を受ける価格を常に一般トレーダーに提示しているため、注文執行タイミングに不確実性が存在せず、板の薄い市場においても十分な流動性を確保することができると考えられている [8]。しかし、JASDAQ 市場ではクオートドリブンの市場形態を採用した全ての銘柄の流動性が向上したわけではなく、出来高そのものが減少している銘柄も確認されている [4]。市場の流動性の定義の問題もあるが、オーダードリブン市場と比較してスプレッドが広がりやすいことが指摘されている [5]。マーケットメーカーの挙動は、市場の流動性に大きく寄与すると考えられる。

これまでマーケットメーカーの戦略に関する研究はまだあまりなされていないが、人工市場を用いた研究がいくつかなされている。Nakajima らは、オーダードリブンの仮想先物市場シミュレータである U-Mart システムを用いて、マーケットメーカーに見立てたエージェントを導入してその効果を調べている [2]。Matsunaga らは、オーダードリブンとクオートドリブンの簡易版仮想先物市場を構築し、その上でいくつかのタイプのマーケットメーカーエージェントを導入して、その効果を調べている [3]。これらの既存研究においては、マーケットメーカーエージェントのシステムパラメータは人手によってチューニングされている。

本論文では、クオートドリブン市場のためのマーケットメーカーエージェントの戦略獲得問題を多目的最適化問題として定式化し、多目的遺伝的アルゴリズムによりエージェントの戦略を最適化する手法を提案する。また、提案手法により得られたマーケットメーカーエージェントを導入したクオートドリブン

市場の性能を、オーダードリブン市場の性能と比較することにより、提案手法の有効性を検証する。

2. 簡易版仮想先物市場シミュレータ

本節では、本論文で用いたオーダードリブンとクオートドリブンの簡易版仮想先物市場シミュレータを説明する。仮想先物市場には U-Mart システム [9] が存在するが、U-Mart システムは GUI 利用が前提のため、現状では、最適化アルゴリズムから繰り返し用いる用途には向いていない。そこで、本研究では、既存研究 [3] を参考に各市場シミュレータを構築した。以下に、各簡易版仮想先物市場シミュレータの概要を説明する。

2.1 オーダードリブン市場シミュレータ

オーダードリブン市場は、東京証券取引所等で用いられおり、一般トレーダー同士の売買価格が一致することで約定する。流動性が高ければ、スプレッドが小さくなり、約定頻度も高く、取引コストが小さい等の特徴をもつ [7]。

本論文では、単純なモデル構築のために、単一商品、単一市場を考える。また、実験の再現性のために、連続時間ではなく、“term” とよばれる離散時間を採用する。注文の受付は各 term で行われ、ザラバ方式により価格が決定する。

現実市場では、注文は一日の終わりにキャンセルされるのに対して、簡易版オーダードリブン市場では「日」の概念は設けずに、注文に注文寿命を設ける。注文は、注文時に約定しなかった場合、指定された注文寿命以内は未約定注文として板に残る。一方で、注文寿命を越した未約定の注文は、破棄される。

一般トレーダは、現物価格系列、先物価格系列、ポジション、現金残高、約定履歴、現在の term 数に基づき、注文を市場に対して提示する。注文には、売買区分、指値、数量、注文寿命を指定する。成行注文は扱わないものとする。

以下に、オーダードリブン市場シミュレータの 1 term の流れを記す。

1. 現物価格系列、先物価格系列、ポジション、現金残高、約定履歴、現在の term 数を一般トレーダに提供する。
2. 一般トレーダーから注文を集める。
3. 前 term までの未約定注文、および、現 term で集められた注文の中で、売買指値が合致している注文を約定させる。もし、値段が同じであれば、古い注文を優先させる。

連絡先: 東京工業大学大学院総合理工学研究科知能システム科学専攻, 横浜市緑区長津田町 4259

Department of Computational Intelligence and Systems Science, Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, 4259 Nagatsuta-cho, Midori-ku, Yokohama, Kanagawa, 226-8502, Japan

4. 約定情報に基づき、一般トレーダーの口座を更新する。
5. 未約定の注文の注文寿命を1減らす。もし、注文寿命が0の未約定注文があれば、それらを破棄する。

2.2 クォートドリブン市場シミュレータ

クォートドリブン市場は、日本ではJASDAQ市場の一部銘柄に用いられている市場である。マーケットメーカーが気配値を提示することで約定機会が常にあるため、流動性の低い市場に効果的であり、価格変動が滑らかであるといわれている一方、取引コストが高い等の問題が指摘されている [7]。

本論文では、前節のオーダードリブン市場と同様に、単一商品、単一市場を考える。時間は離散時間“term”を導入し、注文に注文寿命を設ける。

マーケットメーカーは、先物価格系列、現物価格系列、売買気配値系列、ポジション、約定履歴、term数、板情報に基づき、買気配値、売気配値、引き受け数量を市場に提示する。一方、一般トレーダーは、先物価格系列、現物価格系列、売買気配値、ポジション、約定履歴、term数に基づき、注文、すなわち、売買区分、指値、数量、注文寿命を市場に対して提示する。一般トレーダーに提示される売買気配値は、複数のマーケットメーカーが示した最高値の買気配値と最安値の売気配値である。市場は、一般トレーダーから注文を集め、マーケットメーカーの引き受ける数量まで注文を処理する。本市場では、売買は一般トレーダーとマーケットメーカーの間でのみ行われる。

以下に、クォートドリブン市場シミュレータの1 termの流れを記す。

1. マーケットメーカーから、売買気配値、および、引き受け数量を集め、最高値の買気配値と最安値の売気配値を、それぞれ市場の買気配値と売気配値とする。
2. 一般トレーダーに、先物価格系列、現物価格系列、売買気配値、ポジション、約定履歴、term数を提示する。
3. 一般トレーダーから売注文、買注文を集める。
4. 前 term までの未約定売注文と現 term で集められた売注文を売注文セットとし、前 term までの未約定買注文と現 term で集められた買注文を買注文セットとして、以下のようにマーケットメーカーと約定させる。

(a) 売注文処理

売注文セットの中で、買気配値よりも安い価格の売注文のうち、価格優先でマーケットメーカーが提示した引き受け数量までの売注文を約定させる。もし、価格が同じであれば古い注文を優先させる。

(b) 買注文処理

買注文セットの中で、売気配値よりも高い価格の買注文のうち、価格優先でマーケットメーカーが提示した引き受け数量までの買注文を約定させる。もし、価格が同じであれば古い注文を優先させる。

全ての数量が約定しなかった注文（部分約定）は、未約定注文として次 term に引き継ぐものとする。

5. 約定情報に基づき、マーケットメーカーと一般トレーダーの口座を更新する。
6. 未約定の注文の注文寿命を1減らす。もし、注文寿命が0の未約定注文があれば、それらをキャンセルする

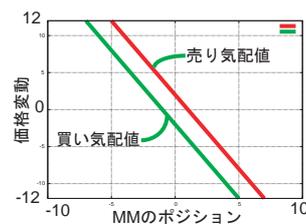


図 1: マーケットメーカーの価格決定モデル ($a = 2, s = 4$ の場合)

3. マーケットメーカーの戦略最適化

3.1 問題の定式化

マーケットメーカー自身が取引による利益を得てしまうと、一般トレーダーには魅力ある市場とは映らないと考えられる。マーケットメーカーの取引損益が0であれば、マーケットメーカーの利益は手数料のみとなり、一般トレーダーから見た資金の流れはオーダードリブン市場のそれと同じになる上、一般トレーダーの取引機会が多くなることから、一般トレーダーが市場へ参入しやすくなると考えられる。また、市場の流動性が向上すればマーケットメーカーは手数料収入の増加が見込まれることから、マーケットメーカーおよび一般とレーダーの両者にとって望ましい市場となると考えられる。したがって、マーケットメーカーの取引損益を0としながら、市場の流動性をあげることが望ましいと考えられる。

本論文では、クォートドリブン市場におけるマーケットメーカーの戦略獲得問題を、マーケットメーカーの損益の絶対値の最小化、および、市場の流動性の最大化の2目的最適化問題として定式化する。ここで、市場の流動性については次式の約定率 r を用いる。

$$r = \frac{V_c}{V_o}$$

ここで、 V_c は約定数量の総和、 V_o は注文数量の総和である。

3.2 マーケットメーカーの戦略表現

本論文では、既存研究 [2, 3] と同様にマーケットメーカーのポジションに着目した戦略を考える。本戦略は、次式にしたがい、時刻 t における引き受け数量 $f_{\text{volume}}(t)$ 、売気配値 $f_{\text{SQ}}(t)$ 、買気配値 $f_{\text{BQ}}(t)$ を決定する。

$$\begin{cases} f_{\text{volume}}(t) = v \\ \begin{cases} f_{\text{SQ}}(t) = \frac{f_{\text{SQ}}(t-1) + f_{\text{BQ}}(t-1)}{2} - a \times p + \frac{s}{2} \\ f_{\text{BQ}}(t) = \frac{f_{\text{SQ}}(t-1) + f_{\text{BQ}}(t-1)}{2} - a \times p - \frac{s}{2} \end{cases} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 v は引き受け数量、 s はスプレッド、 p はポジション、 a は傾きである。例えば、傾き $a = 2, s = 4$ とした場合の前売買気配値の midpoint からの価格差を図1に示す。本戦略は、ある一定のスプレッドを持ちながら、ポジションが正、すなわち、買が先行しているならば、買ポジションを解消するため、売買気配値を低めに設定する。逆に、ポジションが負、すなわち、売が先行しているならば、売ポジションを解消するため、売買気配値を高めに設定する。

本戦略における最適化すべきシステムパラメータは v, s 及び a である。

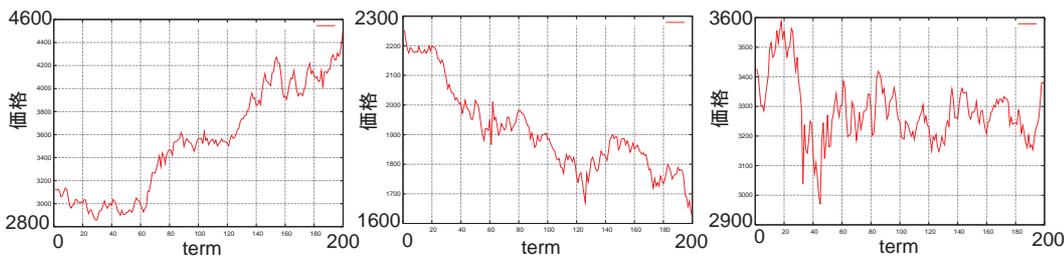


図 2: 現物価格系列: 上昇系列

図 3: 現物価格系列: 下降系列

図 4: 現物価格系列: 振動系列

3.3 戦略最適化アルゴリズム

本論文では、多目的実数値遺伝的アルゴリズム (Multi-Objective Real-Coded Genetic Algorithm; MORCGA) を戦略最適化アルゴリズムとして用いる。

コード化は、引き受け数量 v , スプレッド s , 傾き a からなる実数値ベクトルとする。交叉は、変数間依存性、悪スケール性をもつ探索空間において良好な性能を示す Simplex Crossover (SPX) [6] を採用する。

世代交代モデルとしては、多目的 GA において標準的な NSGA-II [1] に基づく世代交代モデルを採用する。本世代交代モデルにおいて、個体の優劣は集団内の他の個体との関係に基づき決定される。集団内の個体は、優越関係に基づくランクを用いてソートされた後、同一ランクの個体同士については、その個体の周辺の混雑度が小さいほど優れた個体としてソートされる。本世代交代モデルのアルゴリズムを以下に示す：

1. 集団サイズ n_{pop} 個の個体をランダムに生成し、初期集団とする。世代数 $g = 0$ とする。
2. 集団内の全個体の評価値、すなわち、マーケットメーカーの損益の絶対値および約定率をシミュレーションにより求める。その後、ランクと混雑度に基づき、集団内の個体の優劣を決定する。
3. バイナリトーナメント選択により、集団から $N_{dim} + 1$ 個体を交叉のための親個体として選択する。ここで、 N_{dim} は次元数であり、本論文では $N_{dim} = 3$ となる。
4. 選択された親個体に対して交叉 SPX を適用して、 n_c 個の子個体を生成する。
5. 新たに生成された子個体の評価値を計算し、元の集団と子個体をあわせた中間集団を生成する。中間集団において、ランクと混雑度に基づき、集団内の個体の優劣を決定する。
6. 中間集団から、上位 n_{pop} 個の個体を選択して、次世代の集団とする。
7. 世代数 g が打ち切り世代 $g_{terminate}$ に達していれば終了する。さもなければ、 $g = g + 1$ としてステップ 2 へ。

4. 実験

提案手法の有効性を確認するための実験を行った。本論文では、提案手法によって得られたマーケットメーカーを用いたクオートドリブン市場 (QD_{提案手法})、戦略パラメータ a を 0 または 1 に固定して v, s を最適化したマーケットメーカーを

表 1: 注文確率 5% の場合の約定率の比較

	上昇系列	下降系列	振動系列
OD	6.9236	10.01	8.4734
QD _{a=0}	47.7942	23.8995	38.1335
QD _{a=1}	64.6945	67.3926	60.1259
QD _{提案手法}	93.2384	93.376	92.539

表 2: 注文確率 50% の場合の約定率の比較

	上昇系列	下降系列	振動系列
OD	41.2834	51.2783	41.3534
QD _{a=0}	26.0032	16.8649	24.0837
QD _{a=1}	74.261	49.5352	79.358
QD _{提案手法}	98.9323	99.2472	99.2377

用いたクオートドリブン市場 (QD_{a=0}, QD_{a=1})、オーダドリブン市場 (OD) における約定率を比較した。現物価格系列としては、図 2 の上昇系列、図 3 の下降系列、図 4 の振動系列の 3 種類を用いた。これらの現物価格系列は、毎日新聞社が公開していた J30 から抜き出したものである。

一般トレーダーは、各 term に、ある注文確率にしたがい、注文を出すものとした。注文に際しては、ランダムに売買を決定し、注文数量は 1、注文寿命は 5term とし、注文価格 $f_{GEP}(t)$ は以下の式にしたがって決定する：

$$f_{GEP}(t) = spot(t - 1) + U[-25, 25]$$

ここで、 t は term を表し、 $spot(t)$ は term t における現物価格、 U は一様乱数である。注文確率は、5% (板の薄い市場に相当) および 50% (板の厚い市場に相当) の場合について実験を行った。

オーダドリブン市場、クオートドリブン市場における一般トレーダー数を 50、クオートドリブン市場におけるマーケットメーカー数を 1 とした。

GA のパラメータは、集団サイズ $n_{pop} = 200$ 、生成子個体数 $n_c = 50$ 、打ち切り世代数 $g_{terminate} = 500$ と設定した。また、実験は各設定で 3 試行を行った。

一般トレーダーの注文確率を 5% とした場合の QD_{提案手法}、QD_{a=0}、QD_{a=1}、OD の約定率の 3 試行平均を表 1 に示す。また、一般トレーダーの注文確率を 50% とした場合の結果を表 2 に示す。表中の「上昇系列」、「下降系列」、「振動系列」は、実験に用いた現物価格の種類を表している。

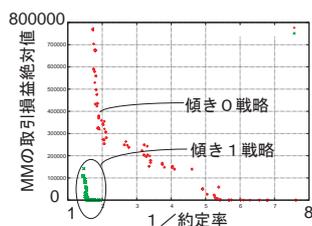


図 5: 目的関数空間上の集団のプロット (上昇系列, $a = 0$ 固定と $a = 1$ 固定の比較)

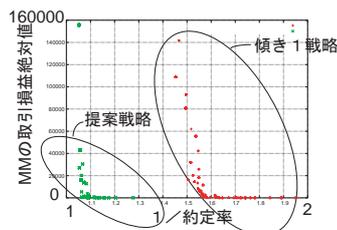


図 6: 目的関数空間上の集団のプロット (上昇系列, $a = 1$ 固定と提案手法の比較)

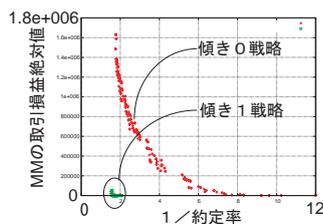


図 9: 目的関数空間上の集団のプロット (振動系列, $a = 0$ 固定と $a = 1$ 固定の比較)

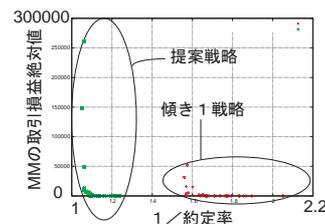


図 10: 目的関数空間上の集団のプロット (振動系列, $a = 1$ 固定と提案手法の比較)

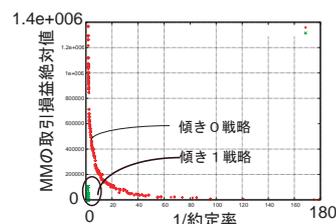


図 7: 目的関数空間上の集団のプロット (下降系列, $a = 0$ 固定と $a = 1$ 固定の比較)

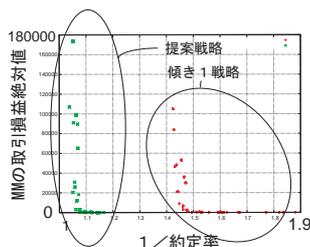


図 8: 目的関数空間上の集団のプロット (下降系列, $a = 1$ 固定と提案手法の比較)

5. 考察

表 1 より, 板が薄い場合 (注文確率 5%) では, クォートドリブン市場 (QD) に比べて, オーダードリブン市場 (OD) の約定率が極端に低いことがわかる。これは, 板の薄いオーダードリブン市場では, 注文寿命内に売買注文が同一価格である確率が低いためであると考えられる。一方, 表 2 より, 板が厚い場合 (注文確率 50%) では, オーダードリブン市場の約定率が急激に上昇していることがわかる。これは, オーダードリブン市場では板の厚い市場において効果的である [7] ことを示している。提案手法 (QD_{提案手法}) は, 板が薄い場合も厚い場合も, 全ての価格系列において非常に高い約定率を示しており, 提案手法の有効性が示唆される。

傾き a を 0 に固定して多目的 GA により最適化したときの最終集団内の全個体, 傾き a を 1 に固定したときの最終集団内の全個体, 傾き a も決定変数として最適化したとき (提案手法) の最終集団内の全個体を, 「約定率の逆数」- 「取引損益の絶対値」平面上にプロットしたグラフを図 5~10 に示す。図 5, 図 6 は上昇系列, 図 7, 図 8 は下降系列, 図 9, 図 10 は振動系列を現物価格系列として用いた場合のグラフである。注文確率は 5% である。図 5, 図 7, 図 9 より, 全ての価格系列において $a = 1$ とした方が $a = 0$ の場合よりも優越していることがわかる。これより, ポジションを考慮して気配値を決定したほうがよいことがわかる。また, 図 6, 図 8, 図 10 より, a も最適化の対象とした提案手法のほうが $a = 1$ と固定した場合よりも優越していることが分かる。これより, a も最適化の対象とする提案手法の有効性が確認できる。提案手法で得られた傾き a はすべて 1 より大きかった。

6. おわりに

本論文では, クォートドリブン市場のためのマーケットメーカーエージェントの戦略獲得問題を多目的最適化問題として定

式化し, 多目的遺伝的アルゴリズムによりエージェントの戦略を最適化する手法を提案した。また, 提案手法により得られたマーケットメーカーエージェントを導入したクォートドリブン市場の約定率を, オーダードリブン市場の約定率と比較することにより, 提案手法の有効性を示した。

今後の課題としては, 現金残高, 現在の板情報, 非対称なスプレッドなどを取り扱えるようにマーケットメーカーの戦略表現を拡張することがあげられる。また, マーケットメーカーの数を増やすこと, ささまざまな取引戦略をもつ一般トレーダーの導入も今後の課題である。

謝辞

本研究を遂行するにあたって, ご助言, ご協力頂いた U-Mart プロジェクトの皆様にご感謝の意を表します。

参考文献

- [1] Deb, K., Pratab, A., Agrawal, S. and Meyarivan, T.: A Fast Elitist Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm for Multi-Objective Optimization: NSGA-II, IEEE Transaction on Evolutionary Computation, Vol.6, No.2, pp.181-197 (2002).
- [2] Nakajima, Y., Ono, I. and Mori, N.: Effect of Simple Market Maker in Artificial Market, Proc. WCSS06, Vol.1, pp.159-166 (2006).
- [3] Matsunaga, T. and Kita, H.: A Comparative study of Order-Driven and Quote-Driven Markets using Artificial Markets, Advancing Social Simulation: The First World Congress, Springer, pp.95-106 (2007).
- [4] 外島健嗣, 高島定美: マーケットメイク制度導入が株式流動性に与える影響, The business review of Kansai University, Vol.50, No.1(20050425), pp.99-111 (2005).
- [5] 宇野淳, 柴田舞, 嶋谷毅, 清水季子, 万年佐知子: JASDAQ 市場のスプレッド比較 - オーダードリブン対マーケットメイキング -, 日本銀行金融研究所, 金融研究 (2003).
- [6] 樋口隆英, 筒井茂義, 山村雅幸: 実数値 GA におけるシンプレクス交叉の提案, 人工知能学会論文誌 Vol. 16, No. 1, pp.146-155 (2001).
- [7] 井上武: 取引所における株式売買仕様の多様化, 野村資本市場研究所資本市場クォーターリー, 2006 年冬号, pp.112-120 (2006).
- [8] <http://www.jasdaq.co.jp/>
- [9] <http://www.u-mart.org/>