

Differential Evolutionを用いた外国為替取引システム Foreign Exchange Trading System with Differential Evolution

今川哲矢^{1†} 伊庭斉志¹
Tetsuya Imagawa¹ Hitoshi Iba¹

¹ 東京大学工学系研究科

¹ School of Engineering, The University of Tokyo

Abstract: In this paper, we propose a real world application which is an automated foreign exchange trading system using Differential Evolution(DE). There are many studies which have focused on trading system. In recent years, such studies have attracted attention because system can catch movement of market price accurately and quickly. DE is a simple yet powerful evolutionary algorithm for global numerical optimization. To verify the effectiveness of the method, we performed simulations using real historical trading data. DE was found to be superior compared to other previous methods in terms of precision and reliability.

1 はじめに

近年個人投資家の数が増加し、誰でもインターネットを通じて取引を行えるようになってきた。取引仲買業者は投資家に投資判断アプリケーションを提供し、投資家がどのタイミングで売買を行えばよいかを知らせている。投資家はそこから最適な投資判断基準の組み合わせを導こうと様々な努力を行っているが、最適な判断基準の組み合わせを発見するのは難しい。また仮に尤も優れた取引システムがあるならば、それは直ちに投資家たちに浸透し、効果を発揮しなくなってしまうだろう。そこで為替の変動がどのような法則に基づいて動いていても、近い過去から安定的に利益を上げることができる投資判断基準を選定できるシステムが要されている。投資判断基準には経済指標を用いるファンダメンタル指標と、時系列解析によるテクニカル指標がある。テクニカル指標は数値化が容易であり、値が刻々と変化するので現在の市場の動向を把握するのに適している。本研究では安定的に利益を上げるシステムを提案する。またどのようなテクニカル指標が有効なのかを最終的に抽出することを目指す。指標のパラメータを最適する手法として、Differential Evolutionを適応した。これは1995年にPriceとStornによって提案された[1]シンプルかつ強力な実数ベクトルの最適化手法であり、様々な分野に応用されてきた。

2 先行研究

HirabayashiらはビットストリングGAを用いて売買タイミングを最適化する手法を提案している[4]。GAを用いる利点は、膨大な探索空間から限られた時間で尤もらしい結果が得られることである。しかしビットストリングGAは、ビット列表現した最適化パラメータ列に対してGA演算を行うことから、数値最適化の場合、表現型空間(実数最適化パラメータ)と遺伝子型空間(そのビット列表現)の位相に大きなギャップが生じる。それに対して実数値GAは、表現型そのものにGA演算を行うため、関数近似問題のような数値最適化に対して実数値GAはビットストリングGAよりも高い性能を示すとの報告がある[6]。一方、テクニカル指標の組み合わせに焦点を当てた研究も多く報告されている[7]。FUJIWARAらはビットストリングGAによる売買タイミングの最適化に加えて、指標の組み合わせを遺伝的プログラミングを用いて最適化した[5]。これにより最終利益率の向上が見られたが、システムが複雑になるほど結果を出す過程が分析しにくくなるという弊害も起こった。パフォーマンス向上を目指す一方で、最終的に為替取引に有効な指標及び指標パラメータを抽出するという目的も重視するため、本システムでは指標の数を少なく抑え、組み合わせを固定したままパラメータの最適を行った。

3 Differential Evolution

Differential Evolution(DE)は、シンプルかつ強力な大域的最適化を行うEvolutionary Algorithm(EA)である。基本的にはGAと同様に決められた個体数分の

†連絡先: 東京大学工学系研究科電気系工学専攻
〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1
E-mail: imagawa@iba.t.u-tokyo.ac.jp

ベクトル列を生成し、それらを進化させて評価関数を満たす遺伝子を生み出していく。GA においては 2 つの遺伝子を選び交叉させていたが、DE では 4 つの遺伝子を選んで交叉させる。手順は以下ようになる。

1. $i(0 < i < N)$ 番目の個体に対して 3 つの個体 (x_0, x_1, x_2) をランダムに選ぶ

2.

$$v = x_0 + F * (x_1 - x_2) \quad (1)$$

となる v をつくる。ここで F は Scale Factor と呼ばれる $(0,1)$ の値をとる変数である。

3. 一定の確率 Cr (Crossover probability) で次の世代の候補となる u ベクトルを v に置き換える。それ以外は x をそのまま代入する。

$$u = u_j = \begin{cases} v & rand_j(0,1) \leq Cr \text{ or } j = j_{rand} \\ x & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

4.

$$x_{g+1} = \begin{cases} u_g & f(u_g) \geq f(x_g) \\ x_g & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

以上を全ての $i(0 < i < N)$ に対して行い、一世代の進化とする。

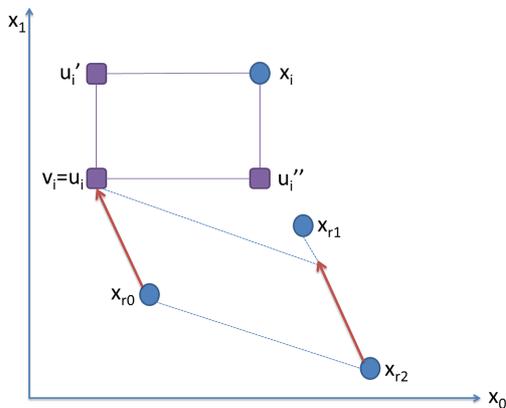


Fig. 1: DE

4 Proposal Method

4.1 対象とするデータ

本システムは外国為替取引において安定的に利益を上げることがを目的とする。扱う通貨ペアとして EUR/USD を選択した。これはもっとも取引量が多いペアであり、恣意性を働かせにくい特徴があるので今回の実験に適していると判断した。取引価格の間隔は 10 分 (足) を



Fig. 2: 10min Rate and MA(50min, 250min, 500min)

選択した。システムトレードは短い間隔で行われることが望ましいが、短すぎるとテクニカルを計算する際にノイズが乗りすぎるので適当な値として選択した。

4.2 用いるテクニカル

取引に用いるテクニカル分析を説明する。なおこのシステムでは移動平均線 (MA) 及び Bollinger Band(BB) を用いたが、他のテクニカルも計算クラスを用意することで簡単に取り入れることができる。

4.2.1 移動平均 (Moving Average)

移動平均 (MA) は短期～長期の平均をグラフ化し、現在の為替変動 (レート) と平均のグラフ (平均線) の位置関係や乖離率、また角度などを見ることでレートの今後の移動を予測しやすくする指標である。以下に一例を示す。今回は局所及び大域的な変化を捉えるため MA3 本の組み合わせを 2 セット用意した。それぞれ (50min, 250min, 500min), (5h, 25h, 50h) である。前者をエントリーのタイミングを計るタイミング値、後者をトレンドの上昇及び下降を示すトレンド値の算出に利用した。

4.2.2 Bollinger Band (BB)

Bollinger Band(BB) は長期の平均と標準偏差 () を表示することで、現在のレートがどのくらいの確率で存在し得るものだったかを確認できる指標である。例えばレートが $+2$ を超えている場合は、それ以上の上昇は確率的に起こりにくいと判断することができる。本実験では 21 日分の平均と を計算し、現在の取引がどれだけ危険かを示すリスク値の計算に用いた。

4.3 取引の判断基準

本システムは各時間ごとに取引を行うか否かを判断している。判断は以下に示す 3 つの値を元に行われる。



Fig. 3: Bollinger Band (21days))

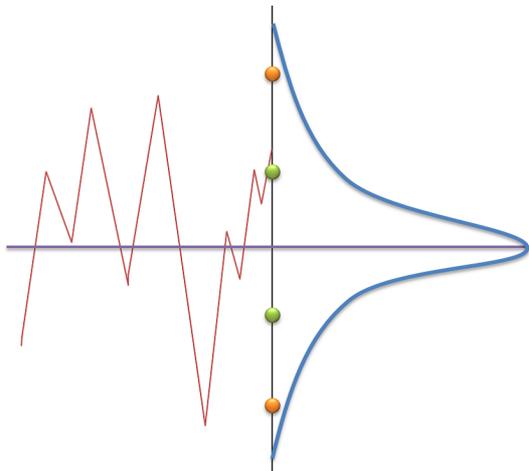


Fig. 4: Average and Standard Deviation

- Timing 値
- Trend 値
- Risk 値

Timing 値はエントリー (通貨の売買を行う) タイミングを計る値で、局所的な MA から計算される。値が高いほどエントリーのタイミングとして適切であるとする。Trend 値はトレンド (通貨の上昇及び下降傾向) を計る値で、大域的な MA から計算される。値が高いほど今後の上昇が期待され、低いほど今後の下降が期待される。0 をトレンドがない状態とする。Risk 値は取引のリスクを計る値で、BB から計算される。絶対値が 2 以上なら相場が高騰しており、今後 Timing 及び Trend 値による取引が正常に行えない可能性が高いので取引を控えるといったことが可能となる。

4.4 各値の計算方法

Timing 及び Trend 値は、MA に含まれる次の情報から計算される。

- 上下関係

$$r_i = \begin{cases} 1 & MA_l[t] > MA_m[t] \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

- 角度

$$v_i = \frac{MA[t] - MA[t - s]}{s}$$

s: MA span (5, 25, 50)

- 乖離率

$$d_i = \frac{close[t] - MA[t]}{close[t]}$$

close: 終値

3 本の MA に対し以上 3 つの値を求める。9 つの値が出てくるので、それぞれに対して重みを用意しその線形和を Timing 及び Trend 値とする。この重みを DE を用いて進化させる。

$$Timing = \sum_{i=1}^3 (r_i * w_i + v_i * w_{i+3} + d_i * w_{i+3})$$

$$Trend = \sum_{i=1}^3 (R_i * W_i + V_i * W_{i+3} + D_i * W_{i+3})$$

Risk 値は以下のように計算される。

$$Risk = \frac{close[t] - average[t]}{\sigma[t]}$$



Fig. 5: Gene

4.5 取引の判断

各時刻において Timing 及び Trend 値が計算され、売買を行うか否かが判断される。本実験では

- エントリー (買い)

$$if(Timing > 100 \text{ and } Trend > 100)$$

タイミング値はオン・オフ選択可能

- 決済 (買っていたものを売る)

$$if(Trend < -100)$$

といったようにトレンドが発生したらタイミングを計ってエントリーし、決済はトレンドが消滅もしくは逆向きになった時に行われるようになっている。

4.6 取引の評価

本実験では3カ月の学習と1カ月の試験を行う。3カ月の学習期間ではこちらが指定した評価関数を最大にするような遺伝子 (重みの実数ベクトル) を求める。このとき評価関数となり得るのは

- Profit Factor

$$PF = \frac{\text{利益}}{\text{損失}}$$

- 最大 Draw Down Ratio (最低時資産の初期資産に対する割合)

$$DD = \frac{MaxDD}{InitialAsset}$$

- 平均ポジション保持期間

などである。本システムでは使用者の好みに合わせてそれぞれの値に重みづけを行うことができる。例えば $PF : DD = 1 : 0$ ならハイリスクだが高いリターンを得る取引が望め、逆に $PF : DD = 0 : 1$ ならばリターンを求めるといよりは負けない取引だけを行おうとする取引が望める。ポジション保持期間については、短期の取引を行えば取引回数が必然的に増えハイリスクハイリターンを望めるようになる。これらの重みを調整することで理想の取引が行えるようになる。

5 Experiment

提案手法を用いて実際に起こった為替の変動から予測を行い、実際の値とどれだけ差異があるかを検証した。用いたデータは株式会社フォレックストレードから譲り受けたユーロ/ドル (EURUSD) の、2008/1/2/8:30 2010/6/18/6:57 の10分足である。初めの21日分は各テクニカル指標を計算するために使用し、残りの期間を学習データと試験データに分割する。本実験では3カ月の学習期間と1カ月の試験期間を設けた。計16個のデータセットが得られ、それぞれに対し10回ずつ実験を行いその平均をとった。各パラメータは以下のようにした。なお評価関数は、Profit Factor と最終資産を考慮した以下のものを用いた。

$$f = \frac{FinalAsset + Gain}{FinalAsset - Loss}$$

Table 1: 設定パラメータ

Parameter	Value
Common	
Population	100
Generation	100
Initial Weight	66
DE	
Scale Factor (F)	0.9
Crossover probability (Cr)	0.9
GA	
Tournament Size	20
Elite Size	5
Mutation Ratio	30%

Table 2: 取引パラメータ

Parameter	Value
Initial Asset	1000
Spread	0.2
Max Position	5



Fig. 6: 学習及び試験期間の取り方

5.1 Result

試行を繰り返した結果、使用特徴量として MA の「上下関係」のみを採用した場合が最も良い成績を収めた。またタイミング値も同様の理由でオフにしてある。DE に対して、平均交差を行ったものを GA と表記し比較してある。10 回試行の結果である。

Table 3: 全体 (約 1 年半) の結果

Score Type	DE	GA
Final Asset	1277.2 ± 274.4	880.8 ± 231.8
Draw Down(%)	4.1 ± 2.6	26.5 ± 8.8
Profit Factor(%)	123 ± 22.7	94.2 ± 15.5
Win Rate(%)	51.4 ± 9.8	40 ± 5.1
Hold Span(10min)	155.7 ± 11.7	193.9 ± 8.4
Trade (times)	328.7 ± 71.7	426.2 ± 44.2

DE は誤差が大きいと平均的に GA よりも大きい利益を出している。この差は DE の探索範囲が平均交差 GA に比べて広いことによるものだと考えられる。以下に区間ごとの統計を示す。

Table 4: 区間 (約 1 カ月) の統計

Score Type	DE	GA
Final Asset	1003.2 ± 54.7	992.5 ± 29.5
Draw Down(%)	4.3 ± 4.0	6.1 ± 2.0
Win Rate(%)	37.1 ± 14	31 ± 7.4
Hold Span(10min)	173 ± 59	206.5 ± 43.6
Trade (times)	20.5 ± 13.8	26.6 ± 8.3

16 区間の平均においても DE は初期資産以上の最終資産を残している。これは上記の全体結果が単に一か所だけで大勝した訳ではないことを示している。DE はさまざまな局面において平均交差 GA よりも高い利益を得ることが可能となっている。

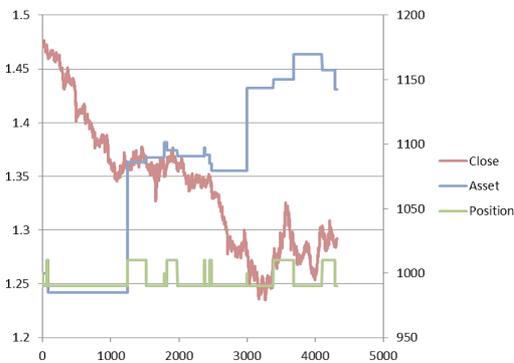


Fig. 7: Term2

Term2 は 2008/9/25 2008/11/6 でなだらかに下降している期間である。表中の position はどのポジションを保持しているかを表している。上に凸状態の時は買いポジションを、下に凸の場合は売りポジションを持っていることになる。中間はポジションを持っていないことになるが、もっていない期間はほとんどないようだ。これは買い決済と売りエントリーのサインがでる条件が重複しているからである。以下、Term2 における Timing 値、Trend 値、及び Risk 値の値を示す。

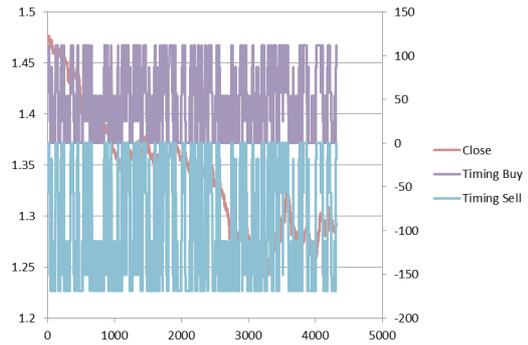


Fig. 8: Timing 値

Timing 値は変化が激しく、取引のタイミングを素早く示してくれるが、一方でノイズが多いという短所を持つ。上昇・下降傾向をつかむ Trend 値は反応が遅いので、将来 Timing 値と兼ね合わせることで有効な取引を目指している。

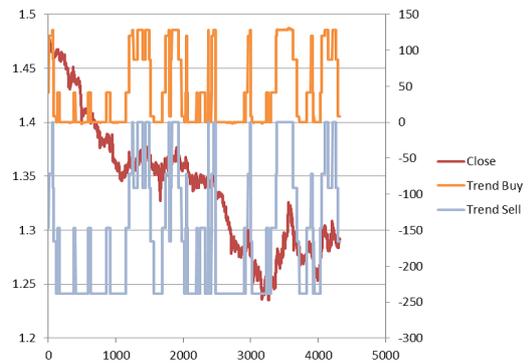


Fig. 9: Trend 値

Trend 値は為替の昇降傾向を表す値である。グラフからも上昇の時は上に凸、下降の時は下に凸となっていることがわかる。基本的には Trend 値で傾向をつかむ方針だが、Trend 値はトレンド発生からその値が変動するまでに時間がかかる。ある程度のトレンドと、エントリーのタイミングを計れる指標を組み合わせることで取引をすることが有効かと思われる。

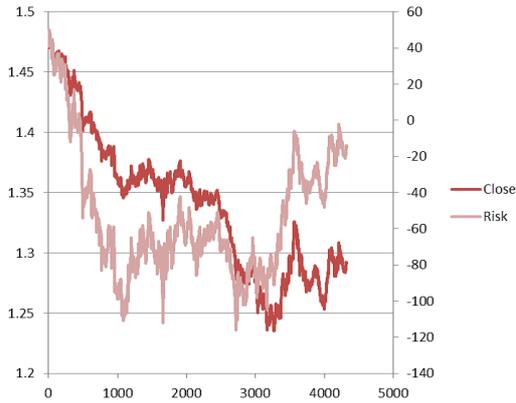


Fig. 10: Risk 値

Risk 値は現在の変動がそれまでに比べて自然か或いは異常かを判断する指標である．Term2 では前半に強い下降傾向が表れたので Risk 値が負に大きく振れたが，途中から下降がなだらかになり Risk 値も 0 に戻っていった．以下に Timing 値を用いなかった時の取引の結果を示す．

以下に買った場合と負けた場合のグラフをさらに示す．

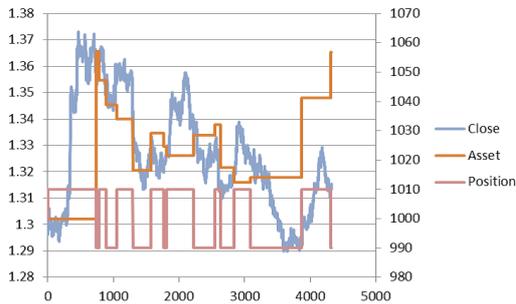


Fig. 11: Term6

最後に Term2 で勝ったときの遺伝子の一例を示す．

6 まとめと今後の展望

実数 GA の計算手法である Differential Evolution を用いてユーロ/ドルの為替自動取引を行った．DE を用いた進化により平均交差 GA よりも取引において有効な最適化を行うことができた．GA の強みは探索範囲の広さであり，予測困難な為替取引において他手法よりすぐれているという結果が報告されているが，今回実数 GA かつ DE を用いたことでこれまで以上に広い探索を行い優れた最適化を行う方法を発見できたといえる．また，本システムはこれまで途中の過程がわ



Fig. 12: Term11

からないという GA の短所を捕捉するため，シンプルな構造をとっている．これによりなぜ取引で勝った・負けたかを分析することが可能となった．一方で今回は移動平均とボリンジャーバンドという基本的なテクニカル手法だけを用いたが，今後他手法を導入することも容易である．トレンドフォロー型の取引をする限りでは，トレンド値をグラフで分析することでトレンドが正しく予測できたかを簡単に確認することができる．本システムは非常に多くのパラメータを持ち，その組み合わせはそれ以上に存在する．学習期間の変更や，個体数，世代数などを変えるだけでも実験結果は大きく変動する．今後は最適なパラメータを探し，なぜそのパラメータが有効なのかを証明することで金融工学の発展にも繋げていけたらよいと考える．

謝辞

本研究を進めるにあたり，適切な助言を下された株式会社フォレックストレード様，株式会社モバイルインターネットテクノロジー様には深く感謝しております．また，日常の議論を通じて多くの知識や示唆を下された伊庭研究室の皆様には感謝いたします．

参考文献

- [1] Rainer Storn and Kenneth Price.:Differential Evolution - A simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces. TR-95-012, 1995
- [2] Rainer Storn and Kenneth Price.:Differential Evolution - A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces. Journal of Global Optimization, 1997
- [3] Rainer Storn, Kenneth Price and Jouni Lampinen.:Differential Evolution - A Practical Approach to Global Optimization. Springer, 1998

Table 5: 得られた遺伝子の一例

Base Number	Buy-Entry	Sell-Entry	Buy-Settle	Sell-Settle
1-2 本目の上下関係にかかる重み	46.9	8.7	66.4	25.8
1-3 本目の上下関係にかかる重み	9.8	26.1	5.3	49.8
2-3 本目の上下関係にかかる重み	46.6	2.5	82.9	69.3

- [4] Akinori Hirabayashi, Claus Aranha, Hitoshi Iba.: Optimization of the Trading Rule in Foreign Exchange using Genetic Algorithm. GECCO'09, 2009
- [5] Kenta FUJIWARA, Hitoshi IBA.: Automated FX Trading Based on Evolutionary Computation. SIG-FIN-003-12, 2009
- [6] Shigenobu Kobayashi.: The Frontiers of Real-Coded Genetic Algorithms. JSAI 24-1, 2009
- [7] Koki Matsumura, Yoshitaka Kuniya and Shuhei Kimura.: Agent Based Trader Model Utilizing Genetic Programming Approach. IPSJ 47-9, 2006
- [8] Matsui Kazuhiro, Haruo Sato.: Coding of Indicators and Parameters to Acquire Stock Trading Strategy Using GA. JSAI, 2009
- [9] Janez Brest, Saso Greiner, Boriko Boskovic, Marjan Mernik, Viljem Zumer.: Self-Adapting Control Parameters in Differential Evolution: A Comparative Study on Numerical Benchmark Problems. IEEE Transactions on Evolutionary Computation 10-6, 2006
- [10] Wenyin Gong, Alvaro Fialho, Zhihua Cai.: Adaptive Strategy Selection in Differential Evolution. GECCO'10, 2010
- [11] Efrnn Mezura-Montes, Jesus Velazquez-Reyes, Carlos A. Coello Coello.: A comparative study of differential evolution variants for global optimization. GECCO'06, 2006