

Jerzy Korczak, Marcin Hernes, Maciej Bac

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

ANALIZA WYDAJNOŚCI AGENTÓW PODEJMUJĄCYCH DECYZJE KUPNA–SPRZEDAŻY W SYSTEMIE WIELOAGENTOWYM A-TRADER

Streszczenie: W artykule przedstawiono problematykę analizy wydajności agentów programowych, podejmujących decyzje kupna–sprzedaży funkcjonujących w systemie wieloagentowym a-Trader. System ten umożliwia wspomaganie decyzji inwestycyjnych na rynku FOREX. W pierwszej części artykułu dokonano charakterystyki systemu a-Trader. Następnie przedstawiono algorytmy funkcjonowania wybranych agentów podejmujących decyzje kupna–sprzedaży. W końcowej części opracowano funkcję oceny wydajności agentów, jak również zaprezentowano sposób przeprowadzenia oraz wyniki analizy tej wydajności.

Słowa kluczowe: systemy wieloagentowe, ocena wydajności agentów, decyzje inwestycyjne.

DOI: 10.15611/ie.2014.1.07

1. Wstęp

Wspomaganie podejmowania decyzji finansowych realizowane jest z wykorzystaniem metod opierających się na matematyce, statystyce, ekonomii czy też sztucznej inteligencji [Barbosa, Belo 2010; Chan, Wong 2011; Karjalainen 1999; LeBaron 2011; Dempster, Jones 2001; Korczak, Lipinski 2008]. Metody często implementowane są jako algorytmy funkcjonowania agentów programowych w systemach wieloagentowych, których przykładem jest system a-Trader [Korczak i in. 2012; Korczak i in. 2013]. Umożliwia on wspomaganie podejmowania decyzji inwestycyjnych na rynku walutowym FOREX (Foreign Exchange Market), jednym z największych na świecie rynków finansowych wymiany walut. Na rynku notowane są kursy par walut, np. EUR/USD, USD/PLN. System a-Trader korzysta z danych tickowych, na podstawie których tworzone są agregaty minutowe (M1, M5, M15, M30), godzinne (H1, H4), dzienne (D1), tygodniowe (W1) oraz miesięczne (MN1).

Agenty funkcjonujące w systemie podejmują decyzje kupna–sprzedaży z wykorzystaniem różnorodnych metod ich wspomaganie. Pojawia się więc koniecz-

ność ciągłej oceny wydajności tych agentów w celu wyznaczenia agentów podpowiadających, w bieżącej sytuacji rynkowej, najlepsze decyzje. W konsekwencji decyzje agentów, którzy uzyskają najwyższą ocenę, mogą stanowić podstawę dokonywania przez inwestora transakcji kupna–sprzedaży.

Celem niniejszego artykułu jest zatem przeprowadzenie analizy wydajności wybranych agentów funkcjonujących w systemie a-Trader z wykorzystaniem różnych miar oraz opracowanie metody jej pomiaru (oceny). W pierwszej części pracy dokonano krótkiej charakterystyki systemu a-Trader, a następnie zaprezentowano algorytmy funkcjonowania trzech wybranych agentów. W części końcowej opisano wyniki analizy wydajności tych agentów.

2. System wieloagentowy a-Trader

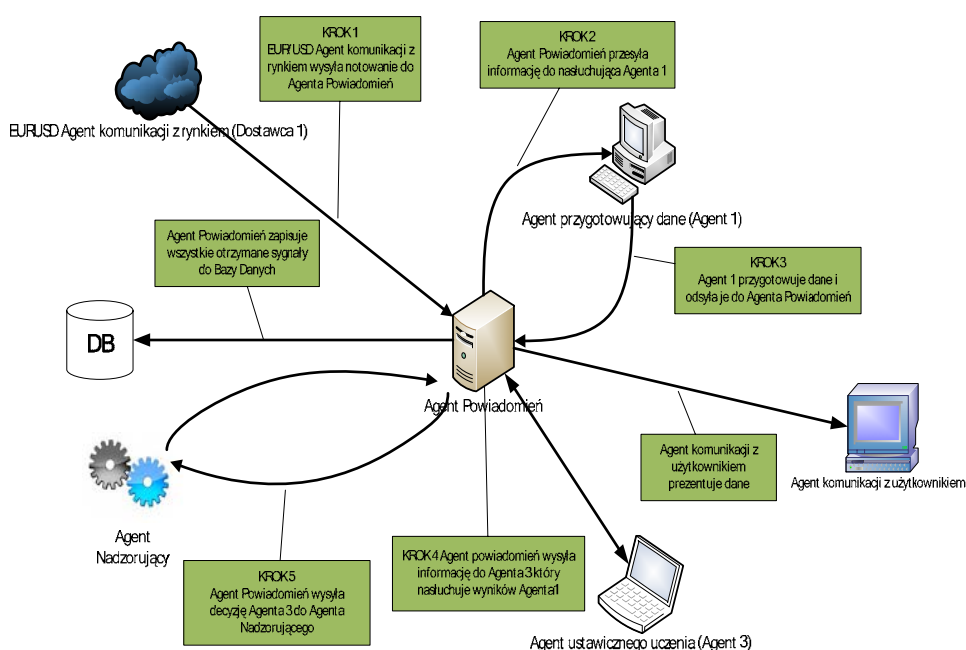
Platforma a-Trader ma charakter wieloagentowego rozwiązania wspierającego analizę szeregów czasowych o wysokiej frekwencji, takich jak np. notowania par walutowych na rynku FOREX. Podstawowymi jego cechami są otwartość, umożliwiająca integrację i rozwój nowych funkcjonalności systemu, oraz zapewnienie odpowiedniej komunikacji między poszczególnymi agentami. System działa w czasie rzeczywistym, przetwarzając na dane od animatora rynku walutowego dostarczane za pomocą oprogramowania MetaTrader lub JForex. Po przetworzeniu dostarczonych danych system a-Trader zwraca do brokera informację o dokonaniu transakcji lub zmianie parametrów pozycji (*stop loss*, *take profit*). Szczegółowy opis architektury i jej elementów oraz informacje o agentach działających w ramach platformy można znaleźć we wcześniejszych pracach opisujących system a-Trader [Korczak i in. 2012; Korczak i in. 2013]. W tym opracowaniu zostanie opisany przykładowy przepływ informacji wewnątrz platformy.

Przykładową ścieżkę, jaką przebywa sygnał dostarczony przez brokera (Dostawca Danych 1), prezentuje rysunek 1. Przetwarzana informacja przechodzi przez wszystkie komponenty systemu:

- a) Agenta powiadomień (zwanego w systemie Notification Agent, NA),
- b) Agenta danych historycznych (Historical Data Agent, HDA),
- c) Chmurę agentów obliczeniowych (Cloud of Computing Agents, CCA),
- d) Agenta komunikacji z rynkiem (Market Communication Agent, MCA),
- e) Agenta komunikacji z użytkownikiem (User Communication Agent, UCA),
- f) Agenta nadzorującego (Supervisor, S),
- g) Bazę danych (System Database, SD).

Informacja o zmianie wartości notowań płynie bezpośrednio do Agenta Powiadomień (NA) – KROK 1. To on decyduje o dalszym przepływie informacji, przesyłając ją do wszystkich agentów, którzy nasłuchują wybranego sygnału. Niezależnie NA wysyła sygnał do bazy danych historycznych. W analizowanym przypadku sygnał zostaje wysłany do agenta przygotowującego dane (Agent 1) –

KROK 2. Agent przygotowujący dane sprawdza, czy sygnał jest prawidłowy i może trafić do analizy przez dalsze agenty. Przesyła zweryfikowany sygnał z powrotem do Agenta Powiadomień (NA) – KROK 3. NA powiadamia Agenta 3 (Agent ustawicznego uczenia) o otrzymanym sygnale od Agenta 1 – KROK 4. Agent ustawicznego uczenia przetwarza informację i wysła ją do Agenta Nadzorującego poprzez NA – KROK 5. Agent Nadzorujący na podstawie decyzji Agenta ustawicznego uczenia oraz decyzji innych agentów podejmuje ostateczną decyzję dotyczącą transakcji. Wysyła ją z powrotem do NA, który zapisuje ją do bazy danych i wysyła na rynek jako transakcje poprzez Agenta komunikacji z rynkiem.



Rys. 1. Przepływ sygnału w systemie a-Trader

Źródło: opracowanie własne.

Przedstawiony przepływ sygnału wewnątrz systemu a-Trader pozwala na lepsze zrozumienie procesów występujących w systemie. Opisywane w dalszej części artykułu agenty działają zgodnie z zaprezentowaną konwencją. Przyjmują generowane w czasie rzeczywistym sygnały innych agentów, przetwarzają je i podejmują decyzje finansowe. Zaprezentowane podstawy technologiczne działania systemu gwarantują jego skalowalność. Wiadomości sterujące, komunikaty o błędach i ostrzeżenia zwiększają niezawodność systemu. Umożliwia to przetwarzanie niemal w czasie rzeczywistym tysięcy sygnałów generowanych przez agenty.

Z punktu widzenia użytkownika systemu (inwestora) najważniejszymi komponentami systemu a-Trader są agenty wyznaczające decyzje kupna–sprzedaży (należące do chmury agentów obliczeniowych) oraz agent Supervisor. Funkcjonowanie tych agentów umożliwia bowiem inwestorowi dokonywanie transakcji na rynku FOREX, zgodnie z generowanymi przez nie sygnałami. W dalszej części artykułu dokonana zostanie charakterystyka wybranych agentów wyznaczających decyzje kupna–sprzedaży.

3. Agenty wyznaczające decyzje kupna–sprzedaży

W systemie a-Trader funkcjonuje ok. 1000 agentów, w tym ok. 800 agentów przetwarzających dane dotyczące notowań rynku FOREX (np. obliczają one wskaźniki śledzące trendy, oscylatory) oraz 200 agentów (funkcjonujących we wszystkich przedziałach czasowych) wyznaczających decyzje kupna–sprzedaży. Na potrzeby niniejszego artykułu, w celu przeprowadzenia analizy wydajności, dokonano wyboru trzech agentów: Bollinger, TrendLinearReg oraz Consensus. Agent Bollinger wyznacza decyzje na podstawie znanego wskaźnika Bollinger Bands, natomiast pozostałe dwa agenty podejmują decyzje na podstawie algorytmów bardziej złożonych niż algorytmy typowych wskaźników analizy technicznej. W dalszej części artykułu zostanie przedstawiona specyfika funkcjonowania wybranych agentów.

3.1. Agent Bollinger

Agent Bollinger funkcjonuje na podstawie wskaźnika Bollinger Bands, wyznaczającego obszar, w którym powinna utrzymywać się cena instrumentu. Zakłada się, że w przypadku kursu pozostającego w trendzie horyzontalnym wykres powinien oscylować pomiędzy dwoma wstęgami Bollingera: górną i dolną. Wyjście linii kursu poza ten obszar (ewentualnie zbliżenie się do ramienia wstęgi) oznacza sygnał krótkotrwałego odwrócenia tendencji w dłuższym trendzie horyzontalnym [Bollinger 2001].

Sygnał kupna zostaje wygenerowany, gdy linia kursu spada poniżej dolnego ograniczenia wstęgi lub zbliża się do niej. Sygnał sprzedaży zostaje wygenerowany, gdy kurs przebija górne ograniczenie wstęgi lub zbliża się do niej. Algorytm funkcjonowania agenta przedstawia się następująco (w prezentowanych algorytmach symbol // oznacza komentarz):

Dane: Wartość notowania q ,

Wartości *bbrandup* // wyznaczana przez agenta przetwarzającego dane o nazwie BBRANDUP, który oblicza wartość górnej wstęgi,

Wartość *bbrandlo* // wyznaczana przez agenta przetwarzającego dane o nazwie BBRANDLO, który oblicza wartość dolnej wstęgi

Wynik: Decyzja D (wartość 1 oznacza decyzję „kupuj”, wartość -1 oznacza decyzję „sprzedaj”, wartość 0 oznacza „pozostaw bez zmian”).

BEGIN

1: Niech $D:=0$;

2: Jeżeli $q < (b_{brandlo} (+\Delta))$ to $D:=1$. Jeżeli $q > (b_{brandup} (-\Delta))$ to $D:=-1$.

// wartość Δ odpowiada wartości odchylenia standardowego sygnału.

END

Złożoność algorytmu wynosi $O(M)$, gdzie M oznacza liczbę notowań.

3.2. Agent TrendLinearReg

Agent funkcjonuje w oparciu o założenie, że trend pewnej liczby M notowań jest aproksymowany prostą o równaniu: $y = ax + b$. Nachylenie prostej zależne jest od wartości parametru „ a ” lub wartości tangens kąta nachylenia obliczany z wykorzystaniem regresji liniowej [Kirkpatric, Dahlquist 2006; TrendLinearReg 2014]. Agent generuje sygnał kupna wtedy, gdy wartość współczynnika zmieni się z dodatniej na ujemną, natomiast sygnał sprzedaży generowany jest wtedy, gdy współczynnik zmieni wartość z ujemnej na dodatnią. Zmiana decyzji agenta dokonywana jest z wykorzystaniem histerezy, a jej poziom określany jest za pomocą współczynnika Δ , którego wartość powinna być wyższa, niż koszty transakcji.

Algorytm funkcjonowania agenta TrendLinearReg przedstawia się następująco:

Dane: Wektor wartości notowań pary walutowej $w = \langle w_1, w_2, \dots, w_M \rangle$ składający się z M notowań oraz poprzednia wartość współczynnika a oznaczona jako $preva$.

Wynik: Decyzja D względem w oraz wartość $preva$.

BEGIN

1: Niech $i:=1$; $sumy:=0$; $sumx:=0.0$; $sumxy:=0$; $sumx2:=0$. // gdzie: $sumy$ oznacza sumę wartości M notowań, $sumx$ oznacza sumę numeru notowania w wektorze, $sumxy$ oznacza sumę iloczynów wartości notowania i numeru notowania w wektorze, natomiast $sumx2$ oznacza sumę kwadratów numerów notowań w wektorze.

2: $sumy:=sumy+w_i$; $sumxy:=sumxy+w_i*i$; $sumx:=sumx+i$;
 $sumx2:=sumx2+i*i$; $i:=i+1$;

3: Jeżeli $i < M$ to przejdź do 2. Jeżeli $i \geq N$ to przejdź do 4.

4: $c:=sumx2*M-sumx*sumx$. Jeżeli $c=0$ to $c:=0,1$.

5: $a:=(sumxy*M-sumx*sumy)/c$;

6: Jeżeli $(a(+/-\Delta)=preva=0)$ lub $((a+\Delta)<0$ i $preva<0)$ lub $((a-\Delta)>0$ i $preva>0)$ to $D:=0$;
Jeżeli $((a+\Delta)<0$ i $preva>0)$ to $D:=1$; Jeżeli $((a-\Delta)>0$ i $preva<0)$ to $D:=-1$;

7: $preva:=a$;

END

Złożoność algorytmu, istotna ze względu na minimalizację czasu reakcji agenta, wynosi $O(M)$, gdzie M oznacza liczbę notowań.

3.3. Agent Consensus

W systemie a-Trader agenty niezależnie od siebie podejmują decyzje kupna–sprzedaży. Może więc wystąpić sytuacja konfliktowa, w której (w danym momencie) decyzje te są wzajemnie sprzeczne (np. część agentów sugeruje decyzję kupna, pozostałe zaś – decyzję sprzedaży). W celu rozwiązania tego konfliktu w systemie zaimplementowano kilka strategii: strategię dominujących decyzji, strategii bazującej na średnich ruchomych, strategię consensusu, strategię ewolucyjną. W artykule opisana zostanie metoda consensusu.

Agent Consensus (scharakteryzowany szczegółowo w pracy [Korczak i in. 2013]) wyznacza decyzję na podstawie zbioru decyzji wygenerowanych przez pozostałe agenty funkcjonujące w systemie. Struktura decyzji inwestycyjnej została zdefiniowana w pracy [Hernes 2011]. Decyzja ta podejmowana jest na podstawie notowań instrumentów finansowych, takich jak np. pary walutowe EUR/USD, USD/GBP, i definiowana jest następująco:

Definicja 1

Decyzją D skończonego zbioru instrumentów finansowych $E = \{e_1, e_2, \dots, e_N\}$ nazywany jest dowolny ciąg

$$P = \langle \{EW^+\}, \{EW^\pm\}, \{EW^-\}, Z, SP, DT \rangle,$$

gdzie: 1) $EW^+ = \langle e_o, pe_o \rangle, \langle e_q, pe_q \rangle, \dots, \langle e_p, pe_p \rangle$ – zbiór pozytywny instrumentów finansowych, tzn. zbiór tych instrumentów finansowych, które należy kupić oraz wartość tego zakupu.

2) $EW^\pm = \langle e_r, pe_r \rangle, \langle e_s, pe_s \rangle, \dots, \langle e_t, pe_t \rangle$ – zbiór neutralny decyzji, tzn. zbiór instrumentów finansowych, dla których nie można określić, czy je kupić czy sprzedać, czyli inaczej mówiąc, instrumenty finansowe, które jeśli są w posiadaniu inwestora, to nie należy ich sprzedawać, jeżeli nie znajdują się w posiadaniu inwestora, to nie należy ich kupować.

3) $EW^- = \langle e_u, pe_u \rangle, \langle e_v, pe_v \rangle, \dots, \langle e_w, pe_w \rangle$ – zbiór negatywny decyzji, tzn. zbiór instrumentów finansowych, które należy sprzedać.

Dwójka $\langle e_x, pe_x \rangle$, gdzie: $e_x \in E$ oraz $pe_x \in [0,1]$, oznacza instrument finansowy oraz jego udział w zbiorach EW^+ , EW^\pm , EW^- .

Instrument finansowy $e_x \in EW^+$ oznacza się e_x^+ .

Instrument finansowy $e_x \in EW^+$ oznacza się e_x^+ .

Instrument finansowy $e_x \in EW^-$ oznacza się e_x^- .

- 4) $Z \in [0,1]$ oznacza stopę zwrotu z podjętej decyzji.
- 5) $SP \in [0,1]$ oznacza stopień pewności zysku Z . Stopień pewności może być obliczany na podstawie poziomu ryzyka związanego z podjętą decyzją.
- 6) DT – data podjętej decyzji.

Algorytm funkcjonowania agenta przedstawia się następująco:

Dane: Profil $A = \{A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(M)}\}$ składający się z M decyzji.

// $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(M)}$ – decyzje poszczególnych agentów

Wynik: Consensus $CON = \langle CON_+, CON_\pm, CON_-, CON_Z, CON_{SP}, CON_{DT} \rangle$ względem A .

BEGIN

1: Niech $CON_+ = CON_\pm = CON_- = \emptyset, CON_Z = CON_{SP} = CON_{DT} = 0$.

2: $j:=1$.

3: $i:=+$.

4: Jeżeli $t_i(j) > M$ to $CON_i := CON_i \cup \{e_j\}$. Przejdź do:6.

// $t_i(j)$ – liczba wystąpień instrumentu finansowego
w zbiorze pozytywnym, neutralnym lub negatywnym

5: Jeżeli $i=+$ to $i:=\pm$. Jeżeli $i=\pm$ to $i:=-$. Jeżeli $i=-$ to przejdź do: 6.

Przejdź do:4.

6: Jeżeli $j < N$ to $j:=j+1$. Przejdź do:3.

Jeżeli $j \geq N$ to przejdź do: 7.

7: $i:=Z$.

8: Wyznacz $pr(i)$. //porządek rosnący

9: $k_i^1 = (M+1)/2$, $k_i^2 = (M+2)/2$.

10: $k_i^1 \leq CON_i \leq k_i^2$

11: Jeżeli $i=Z$ to $i:=SP$. Jeżeli $i:=SP$ to $i:=DT$. Jeżeli $i:=DT$ to END.

Przejdź do: 8.

END.

Złożoność algorytmu wynosi $O(3NM)$, gdzie N oznacza liczbę par walutowych, natomiast M oznacza liczbę agentów należących do profilu (w przeprowadzonym w dalszej części artykułu eksperymencie badawczym, $M=25$, $N=1$). Złożoności obliczeniowe algorytmów funkcjonowania agentów mają wpływ na wydajność całego systemu a-Trader. Biorąc bowiem pod uwagę fakt, że system przetwarza sygnały tickowe oraz funkcjonuje w nim duża liczba agentów (ok. 1000), bardzo istotny jest krótki czas obliczeń dokonywanych przez poszczególne agenty. Generalnie, agenty funkcjonujące w systemie w celu wyznaczania decyzji wykorzystują metody analizy technicznej, analizy fundamentalnej, sieci neuronowe, algorytmy ewolucyjne, modele behawioralne. W systemie funkcjonuje również agent Supervisor, którego głównym celem jest maksymalizacja stopy zwrotu oraz ogra-

niczanie ryzyka inwestycyjnego. Zadaniem Supervisora jest koordynowanie funkcjonowania agentów wyznaczających decyzje kupna–sprzedaży oraz prezentowanie inwestorowi ostatecznej decyzji. Agent ten wykorzystuje różne strategie, analizuje je i ocenia wydajność agentów.

W dalszej części artykułu przedstawiony zostanie przypadek studyjny dotyczący metody pomiaru wydajności wybranych agentów podejmujących decyzje kupna–sprzedaży.

4. Metoda pomiaru wydajności agentów – przypadek studyjny

Analizę wydajności systemu wykonano na danych z przedziału M1 notowań z rynku walutowego FOREX. W celu dokonania tej analizy przeprowadzono test, w którym przyjęto następujące założenia:

1. Wykorzystano notowania pary EUR/USD, z czterech, losowo wybranych, następujących okresów:

25-03-2014 g. 12:00 do 25-03-2014 g. 23:59,

26-03-2014 g. 0:00 do 26-03-2014 g. 23:59,

27-03-2014 g. 0:00 do 27-04-2014 g. 23:59,

28-03-2014 g. 0:00 do 28-04-2014 g. 21:59.

2. Przy weryfikacji wykorzystuje się decyzje (sygnały kup – wartość 1, sprzedaj – wartość -1, pozostaw bez zmian – wartość 0) wygenerowane przez agenty Bollinger, TrendLinearReg (przykład przedstawiono na rys. 2, gdzie zielona strzałka oznacza decyzję „kup”, czerwona – „sprzedaj”), oraz Consensus.



Rys. 2. Decyzje agenta TrendLinearReg

Źródło: opracowanie własne.

3. Przyjęto, że kapitał początkowy, jaki posiada inwestor, wynosi 1000 USD, a jako stopę zwrotu z inwestycji przyjmuje się różnicę pomiędzy tą kwotą a kwotą, jaką inwestor będzie posiadał po ostatniej transakcji sprzedaży w danym okresie. Stopa zwrotu wyrażona jest w jednostkach nominalnych (USD) oraz relatywnych (%).

4. Nie uwzględnia się kosztów transakcji.

5. Zarządzanie kapitałem – założono, że w każdej transakcji inwestor angażuje 100% posiadanego kapitału. Strategia zarządzania kapitałem może być ustalona przez użytkownika. Inwestor inwestuje za każdym razem 1000 przy leverage 10:1 i inwestuje całość posiadanego kapitału.

6. Analizę wydajności przeprowadzono z wykorzystaniem następujących miar (wskaźników):

- stopa zwrotu (wskaźnik x_1),
- liczba transakcji,
- największy zysk (wskaźnik x_2),
- największa strata (wskaźnik x_3),
- całkowity zysk (wskaźnik x_4),
- liczba transakcji zyskowych (wskaźnik x_5),
- liczba transakcji zyskowych pod rząd (wskaźnik x_6),
- liczba transakcji stratnych pod rząd (wskaźnik x_7),
- wskaźnik Sharpe'a (wskaźnik x_8),

$$S = \frac{E(r) - E(f)}{|O(r)|} \cdot 100\%$$

gdzie: $E(r)$ – średnia arytmetyczna stopy zwrotu,

$E(f)$ – średnia arytmetyczna stopy zwrotu wolnej od ryzyka,

$O(r)$ – odchylenie standardowe stóp zwrotu;

- przeciętny współczynnik zmienności (ratio x_9) jest to stosunek odchylenia przeciętnego do średniej arytmetycznej pomnożony przez 100% i jest wyrażony w jednostkach niemianowanych:

$$V = \frac{s}{|E(r)|} \cdot 100\%$$

gdzie: V – przeciętny współczynnik zmienności,

s – odchylenie przeciętne stopy zwrotu,

$E(r)$ – średnia arytmetyczna stopy zwrotu;

- Value at Risk (ratio x_{10}) – miara określana jako wartość narażona na ryzyko, czyli maksymalna strata rynkowej wartości portfela lub instrumentu finansowego możliwa do poniesienia w konkretnym horyzoncie czasowym i przy założonym poziomie ufności [Jajuga, Jajuga 2000].

$$VaR = P \cdot O \cdot k,$$

gdzie: P – wartość kapitału początkowego,

O – zmienność – odchylenie standardowe stóp zwrotu w badanym okresie,

k – odwrotność standardowego skumulowanego rozkładu normalnego (przyjmując poziom ufności 95% wartość k wynosi 1,65).

7. W celu porównania wydajności agentów opracowano następującą funkcję oceny:

$$y = (a_1x_1 + a_2x_2 + a_3(1 - x_3) + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 + \dots \\ + a_7(1 - x_7) + a_8x_8 + a_9(1 - x_9) + a_{10}(1 - x_{10})).$$

gdzie x_i oznacza wartości znormalizowane wskaźników wymienionych w pkt. 6 od x_1 do x_{10} . W badaniu przyjęto, że współczynniki a_1 do $a_{10} = 1/10$.

Zaznaczmy, że współczynniki te mogą one być modyfikowane z wykorzystaniem np. metody ewolucyjnej lub też ustalane przez użytkownika (inwestora) zgodnie z jego preferencjami (np. użytkownik może określić, czy zainteresowany jest wyższą stopą zwrotu przy jednoczesnym wyższym poziomie ryzyka, czy też niższym poziomem ryzyka, ale jednocześnie zgadza się na niższą stopę zwrotu). Funkcja przyjmuje wartości z zakresu $[0...1]$, a wydajność agenta jest wprost proporcjonalna do wartości funkcji.

8. Wyniki uzyskane przez badane agenty porównane zostały z wynikami strategii Buy-and-Hold oraz strategii korzystających z EMA.

Badania wydajności agentów przeprowadzono w następujący sposób:

1. Na podstawie danych z pierwszego okresu każdy agent określał, kiedy kupić, a kiedy sprzedać walutę EUR/USD.

2. W kolejnym kroku, na podstawie wyników poszczególnych agentów oraz Buy-and-Hold i EMA, dla każdej operacji kupna–sprzedaży określono wartość posiadanego kapitału oraz określono stopę zwrotu w USD.

3. W końcowym etapie obliczono wartość *performance ratios* w odniesieniu do stóp zwrotu wynikających ze wszystkich decyzji generowanych przez analizowane agenty oraz strategii Buy-and-Hold i EMA (nie tylko z końcowych stóp zwrotu, ale ze wszystkich stóp zwrotu obliczonych po każdej decyzji sprzedaży). Obliczono również funkcje oceny.

4. Następnie kroki od 1 do 3 powtórzono, wykorzystując dane z kolejnych okresów.

Tabela 1. przedstawia otrzymane wyniki w poszczególnych okresach.

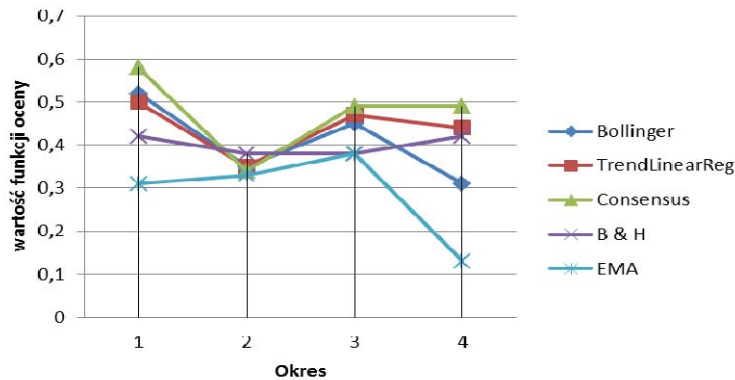
Generalizując wyniki analizy wydajności agentów, można zauważyć, że w rozpatrywanych okresach ich decyzje generowały zarówno zyski, jak i straty. W ocenie wydajności należy więc brać pod uwagę nie tylko stopę zwrotu, lecz także inne wskaźniki, uwzględniając również poziom ryzyka związanego z inwestycją, co umożliwia opracowana w artykule funkcja oceny.

Na rysunku 3. przedstawiono wykres wartości funkcji oceny poszczególnych agentów (oraz metody B&H i średniej EMA) w rozpatrywanych okresach.

Tabela 1. Wyniki analizy wydajności

Wskaźnik	Bollinger				TrendLinearReg				Consensus				B&H				EMA			
	Okres 1	Okres 2	Okres 3	Okres 4	Okres 1	Okres 2	Okres 3	Okres 4	Okres 1	Okres 2	Okres 3	Okres 4	Okres 1	Okres 2	Okres 3	Okres 4	Okres 1	Okres 2	Okres 3	Okres 4
Stopa zwrotu (USD)	17,51	-7,09	14,6	0,73	22,74	-9,84	20,96	12,73	20,90	-1,57	18,39	14,89	6,37	-30,82	-28,3	6,33	-11,32	-9,85	2,54	-0,16
Liczba transakcji	9	19	20	20	18	20	28	27	6	9	14	16	1	1	1	1	33	28	15	26
Największy zysk (USD)	4,57	3,77	5,75	6,85	18,17	3,33	5,74	8,67	6,89	3,89	4,73	3,91	6,37	0	0	6,33	22,82	5,86	8,56	3,06
Największa strata (USD)	-1,31	-9,7	-19,02	-17,7	-11,03	-11,94	-10,89	-10,86	1,10	-5,13	-3,44	-2,69	6,37	-30,82	-28,3	6,33	-20,51	-6,8	-9,8	-6,32
Całkowity zysk (USD)	18,96	21,8	45,89	29,13	41,88	12,81	47,76	40,48	20,90	9,27	24,28	19,09	6,37	0	0	6,33	30,8	29,1	15,68	14,69
Liczba transakcji zyskowych	7	11	13	15	11	12	19	20	6	5	11	14	1	0	0	1	8	11	6	12
Liczba transakcji zyskowych pod rząd	5	3	5	7	6	4	9	5	6	2	5	7	0	0	0	1	3	2	2	4
Liczba transakcji stratnych pod rząd	2	2	2	1	2	2	3	2	0	1	2	1	0	1	1	0	20	5	6	6
Wskaźnik Sharpa	0,95	-0,11	0,13	0	0,22	-0,16	0,2	0,12	1,47	-0,07	0,59	0,62	0,00	0	0	0	-0,06	-0,11	0,04	-0,01
Przeciętny współczynnik zmienności (%)	0,87	7,31	5,1	7,79	2,69	3,86	3,36	4,97	0,56	-0,01	1,32	1,02	0,00	0	0	0	6,06	6,81	11,56	18,536
Wartość narażona na ryzyko (USD)	33,55	56,47	92,34	84,27	92,33	51,59	55,78	64,52	38,97	33	36,5	24,37	0,00	0	0	0	92,65	52,56	60,43	30,84
Wartość funkcji oceny (y)	0,52	0,35	0,45	0,31	0,50	0,35	0,47	0,44	0,58	0,34	0,49	0,49	0,42	0,38	0,38	0,42	0,31	0,33	0,38	0,13

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3. Wartości funkcji oceny poszczególnych agentów w rozpatrywanych okresach

Źródło: opracowanie własne.

Można zauważyć, że ranking ocen agentów różni się w poszczególnych okresach. W pierwszym okresie najlepszy okazał się agent Consensus, natomiast agenci TrendLinearReg oraz Bollinger uzyskały wyższą ocenę niż ocena benchmarków B & H oraz EMA. W drugim okresie agenci Bollinger i TrendLinearReg otrzymały ocenę wyższą niż agent Consensus oraz benchmark EMA, jednakże najwyżej oceniony został benchmark B&H. Rozpatrując trzeci okres, można zauważyć, że ranking ocen kształtuje się podobnie, jak w okresie pierwszym. W czwartym zaś najlepszą ocenę uzyskał również agent Consensus, natomiast agent TrendLinearReg uzyskał wyższą a agent Bollinger niższą ocenę od oceny benchmarku B&H. Najniższą ocenę w tym okresie otrzymał benchmark EMA.

Biorąc pod uwagę wszystkie rozpatrywane okresy, można stwierdzić, że najczęściej (3 z 4 okresów) najwyżej oceniany był agent Consensus, mimo że nie zawsze stopa zwrotu tego agenta była najwyższa. Ocena ta wynika jednak z niskiego poziomu ryzyka związanego z inwestowaniem na podstawie decyzji agenta Consensus. Z kolei najczęściej nisko oceniany był agent Bollinger (w 3 z 4 okresów), ponieważ przy stosunkowo dużym poziomie ryzyka generował niewielkie stopy zwrotu. Można również zauważyć, że niska ocena benchmarku EMA we wszystkich okresach wynika nie tyle z poziomu stopy zwrotu, co z wysokiego poziomu ryzyka oraz dużej liczby transakcji stratnych pod rząd.

Odnosząc się do analizy wydajności przeprowadzanej w innych systemach (np. w systemie MetaTrader), należy podkreślić, że jest ona w większości z nich dokonywana „ręcznie” przez inwestora. Z uwagi na czasochłonność jej użyteczność w systemach działających w czasie rzeczywistym jest bardzo ograniczona. Poza tym systemy te oferują jedynie funkcje obliczające podstawowe wskaźniki (stopa zwrotu, liczba transakcji, największy zysk, największa strata, całkowity zysk, liczba transakcji zyskownych, liczba transakcji zyskownych pod rząd, liczba transakcji stratnych pod rząd), natomiast w systemie a-Trader obliczane są również dodatkowe wskaźniki, takie jak miary ryzyka (wskaźnik Sharpa, przeciętny współczynnik zmienności, wartość narażona na ryzyko).

Funkcja oceny opracowana w niniejszym artykule umożliwia pomiar i ocenę wydajności poszczególnych agentów podejmujących decyzję kupna–sprzedaży w systemie. Operacje te dokonywane są automatycznie, w czasie zbliżonym do rzeczywistego, przez agenta Supervisor, który następnie może sugerować inwestorowi podejmowanie ostatecznych decyzji na podstawie decyzji generowanych przez agenta o najwyższym poziomie wydajności. Dodatkowo umożliwienie użytkownikowi zmiany parametrów a_x funkcji oceny pozwala na uwzględnianie jego preferencji dotyczących kryterium ważności poszczególnych wskaźników oceny.

Opracowaną funkcję oceny można rozbudować o możliwość uwzględniania wskaźników, które nie mają wprost (lub odwrotnie) proporcjonalnego wpływu na wartość funkcji. Przykładowo, uwzględnienie w ocenie kosztów transakcji (np. biorąc pod uwagę liczbę wszystkich transakcji) wymaga rozpatrywania zależności funkcyjnych pomiędzy liczbą transakcji a średnią stopą zwrotu z transakcji. Nie można bowiem przyjąć prostej zasady, że duża liczba transakcji wpływa na zmniejszenie poziomu wydajności agenta, ponieważ mogą to być transakcje przynoszące wysoką stopę zwrotu.

5. Zakończenie

Agenty w systemie a-Trader podejmują niezależnie decyzje kupna–sprzedaży, wykorzystując w tym celu różne metody. Funkcjonowanie tych agentów wiąże się jednak z potrzebą przeprowadzania ciągłej analizy ich wydajności, która powinna być dokonywana przez agenta Supervisor. W konsekwencji umożliwia to przedstawienie inwestorowi decyzji generowanych przez najlepsze agenty. Wyniki analizy przedstawione w niniejszym artykule pozwalają wyciągnąć wnioski, że w zależności od aktualnej sytuacji na rynku FOREX poziom wydajności poszczególnych agentów zmienia się. Nie ma agenta, który zdecydowanie dominuje pozostałych. Wykorzystanie zaś funkcji oceny tej wydajności pozwala na automatyczne wyznaczenie najlepszego agenta w czasie zbliżonym do rzeczywistego, co ma w konsekwencji pozytywny wpływ na efektywność inwestowania.

Obecnie prowadzone są prace nad realizacją w systemie a-Trader metody ewolucyjnej ustalania współczynników a_x , oraz implementacją agentów kognitywnych, przeprowadzających analizę fundamentalną oraz analizujących opinie ekspertów w zakresie prognoz odnoszących się do notowań na rynku FOREX.

Literatura

- Barbosa R.P., Belo O., 2010, *Multi-Agent Forex Trading System*, [w:] *Agent and Multi-agent Technology for Internet and Enterprise Systems*, "Studies in Computational Intelligence", vol. 289, s. 91-118.
- Bollinger, John, 2001, *Bollinger on Bollinger Bands*, McGraw Hill, New York.
- Chan L., Wk Wong A., 2011, *Automated Trading with Genetic-Algorithm Neural-Network Risk Cybernetics: An Application on FX Markets*, "Finamatrix", January, s. 1-28.

- Dempster M., Jones C., 2001, *A Real Time Adaptive Trading System using Genetic Programming*, *Quantitative Finance*, no. 1, s. 397-413.
- Hernes M., 2011, *Metody consensusu w rozwiązywaniu konfliktów wiedzy w wieloagentowym systemie wspomagania decyzji*, rozprawa doktorska, Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu.
- Hernes M., Nguyen N.T., 2007, *Deriving Consensus for Hierarchical Incomplete Ordered Partitions and Coverings*, "Journal of Universal Computer Science", no. 13 (2), s. 317-328.
- Jajuga K., Jajuga T., 2000, *Inwestycje: Instrumenty finansowe, ryzyko finansowe, inżynieria finansowa*, PWN, Warszawa.
- Karjalainen, R., 1999, *Using Genetic Algorithms to Find Technical Trading Rules*, "Journal of Financial Economics", no. 51, s. 245-271.
- Kirkpatrick, Dahlquist, 2006, *Technical Analysis: The Complete Resource for Financial Market Technicians*, "Financial Times Press".
- Korczak J., Lipinski P., 2008, *Systemy agentowe we wspomaganiu decyzji na rynku papierów wartościowych*, [w:] *Rozwój informatycznych systemów wieloagentowych w środowiskach społeczno-gospodarczych*, red. S. Stanek i in., Placet, Warszawa, s. 289-301.
- Korczak J., Bac M., Drelczuk K., Fafuła A., 2012, *A-Trader – Consulting Agent Platform for Stock Exchange Gamblers*, [w:] *Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, Wrocław, s. 963-968.
- Korczak J., Hernes M., Bac M., 2013, *Risk avoiding strategy in multi-agent trading system*, [w:] *Proceedings of Federated Conference Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, Kraków.
- LeBaron B., 2011, *Active and Passive Learning in Agent-based Financial Markets*, *Eastern Economic Journal*, vol. 37, s. 35-43.
- Nguyen N.T., 2006, *Using Consensus Methodology in Processing Inconsistency of Knowledge*, [w:] *Advances in Web Intelligence and Data Mining*, red. M. Last i in., series "Studies in Computational Intelligence", Springer-Verlag, Berlin, s. 161-170.
- Sobieska-Karpińska J., Hernes M., 2012, *Consensus determining algorithm in multiagent decision support system with taking into consideration improving agent's knowledge*, [w:] *Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, Wrocław, s. 1035-1040.
- TrendLinearReg, <http://forexwikitrading.com/forex-indicator/trendlinearreg/> (2.02.2014).
- Zgrzywa M., 2007, *Consensus Determining with Dependencies of Attributes with Interval Values*, "Journal of Universal Computer Science", vol. 13, no. 2, s. 329-344.

PERFORMANCE ANALYSIS OF THE BUY-SELL DECISION AGENTS' IN A-TRADER SYSTEM

Summary: The article presents the performance analysis issues of buy-sell decisions agents' in a-Trader system. The system allows for supporting of investment decision on FOREX market. The first part of the article contains a description of a-Trader system. Next, the algorithms of the selected buy-sell decision agents are presented. The evaluation function of agents' performance is elaborated, and the manner of performance analysis executing is presented in the final part of the article.

Keywords: multiagent systems, agents' performance analysis, investment decisions.