

Grzegorz DEC¹

MODEL SYSTEMU WSPOMAGAJĄCEGO PODEJMOWANIE DECYZJI INWESTYCYJNYCH

W pracy opisano model automatu przeznaczonego do wspomaganie podejmowania decyzji inwestycyjnych. Autor dokonał przeglądu komercyjnych rozwiązań służących do podejmowania decyzji finansowych. Zaproponował architekturę systemu, który na podstawie aktualnych notowań wybranych instrumentów finansowych, podejmuje decyzje o zamianach jednostek uczestnictwa wskazanych funduszy inwestycyjnych lub kupnie lub sprzedaży jednostek indeksowych funduszu typu ETF. Instrumentami finansowymi mogą być: indeksy giełdy papierów wartościowych, wybrane fundusze inwestycyjne, fundusze typu ETF lub obligacji wybranych emitentów. System składa się z dwóch połączonych ze sobą automatów. Pierwszy z nich, modelowany siecią Petriego, przechowuje informacje o aktualnym stanie rynków finansowych. Drugi, modelowany klasycznym automatem Mealego, przechowuje informacje o stanie portfela inwestycyjnego i podejmuje decyzje inwestycyjne. Sieć Petriego zmienia znakowanie pod wpływem sygnałów zewnętrznych, którymi są wybrane sygnały analizy technicznej. Sygnały te opisują zmiany trendów instrumentów finansowych. Zmiana stanu automatu Mealego następuje pod wpływem zmiany znakowania sieci Petriego. Z tą zmianą stanu związane jest wygenerowanie decyzji, jaka operacja finansowa powinna zostać przeprowadzona. Oprócz formalnego opisu modeli, praca zawiera również wyniki eksperymentu. Autor dokonał doboru funkcji analizy technicznej, na podstawie których system podejmuje decyzję o tym, czy na rynkach obligacji lub giełdzie panuje hossa lub bessy. Używając historycznych notowań z lat 2008 – 2011, dostroił dobrane funkcje w taki sposób, żeby na danych testowych system nie przynosił straty w okresach rocznych. Następnie postępując zgodnie z sugestiami systemu, inwestował kapitał na rachunku rzeczywistym przez okres 8 miesięcy.

Słowa kluczowe: system ekspertowy, giełda papierów wartościowych, fundusz inwestycyjny.

1. Wstęp

Praca poświęcona jest opisowi modelu automatycznego systemu transakcyjnego. System ten jest przeznaczony do udzielania wskazówek inwestycyjnych dla osób zainteresowanych inwestowaniem na rynkach kapitałowych.

¹Grzegorz Dec, Politechnika Rzeszowska, Katedra Informatyki i Automatyki,
grzegorz.dec@kia.prz.edu.pl

Podstawą opisywanego systemu jest analiza techniczna [4, 8, 9] oraz wynik eksperymentu opisanego w [3], który wykazał, że w pewnych warunkach możliwe jest osiągnięcie zysków przy rygorystycznym stosowaniu pewnych reguł inwestowania.

2. Zbliżone rozwiązania

Generalnie, podmioty dysponujące automatycznymi systemami inwestycyjnymi nie są zainteresowane publikowaniem szczegółów ich funkcjonowania. Można wskazać pewne prace, jak np. [6], w których autorzy podają ogólne opisy funkcjonowania podobnych rozwiązań. Wynik pracy [6] nie nadaje się jednak do zastosowań praktycznych, ze względu na oderwane od rzeczywistości kwoty, jakimi trzeba dysponować, żeby zaimplementować proponowany system. Autorowi znane są komercyjne zastosowania podobnych systemów, oferowane przez następujące firmy:

- Opiekun Inwestora s.c. z siedzibą w Poznaniu przy ulicy Grottgera 16/1,
- Consulting Group. z siedzibą w Krakowie przy ulicy Drużbackiej 27a,
- TurboInvest.pl s.c., ul. Bohaterów Warszawy 82/17, 71-061 Szczecin,
- Adam Gibas – Doradztwo Finansowe z siedzibą w Piekarach Śląskich przy ulicy Roździeńskiego 13/2 m.4.

Analiza materiałów marketingowych wymienionych firm wykazuje, że stoją one inne rozwiązania, niż zaproponowane w tej pracy. W szczególności:

- Opiekun Inwestora opiera się na analizie wartości jednostek uczestnictwa funduszy inwestycyjnych,
- Consulting Group buduje zdywersyfikowany portfel zawierający jednostki Towarzystw Funduszy Inwestycyjnych (TFI) i certyfikaty inwestycyjne,
- TurboInvest.pl jest zbiorem narzędzi do budowy własnej strategii inwestycyjnej,
- Adam Gibas – Doradztwo Finansowe zakłada inwestowanie w dowolny Otwarty Fundusz Inwestycyjny (OFI) rynku krajowego lub zagranicznego z zastosowaniem jednej strategii inwestycyjnej; dla rynku krajowego używa jednego indeksu giełdowego, dla funduszy zagranicznych analizowane są wartości jednostek uczestnictwa.

Sposób inwestowania przedstawiony w tej pracy charakteryzuje się następującymi cechami:

- nie jest ograniczony do rynku polskiego, można go stosować na dowolnych rynkach finansowych,
- zakłada inwestowanie wyłącznie w 4 typy funduszy inwestycyjnych: pieniężny, obligacyjny, średnich spółek i dużych spółek; fundusze giełdowe muszą być funduszami indeksowymi,

- decyzje inwestycyjne podejmowane są na podstawie analizy wartości indeksów giełdowych i obligacji powiązanych z OFI; wartości jednostek uczestnictwa TFI nie są analizowane,
- dywersyfikacja portfela inwestycyjnego stosowana jest w ograniczonym zakresie i polega na podziale portfela między OFI agresywne,
- stosowana jest jedna strategia inwestycyjna,
- jest dostępny dla inwestorów indywidualnych.

3. Definicje

Definicja 1. Niech $D=\{d_0, d_1, \dots, d_n\}$ będzie całkowicie uporządkowanym zbiorem elementów, z porządkiem liniowym określonym jako relacja „większe lub równe”. Element $d_i \in D$ nazywany będzie dniem wyceny.

Definicja 2. Niech $\omega: D \rightarrow \{0, 1\}$ będzie funkcją zdefiniowaną następująco:

$$\omega(d_i) = \begin{cases} 1 & \Leftrightarrow d_i \text{ jest ostatnim dniem wyceny w tygodniu kalendarzowym} \\ 0 & \Leftrightarrow d_i \text{ nie jest ostatnim dniem wyceny w tygodniu kalendarzowym} \end{cases}$$

Definicja 3. Niech $W \subset D$, $W = \{w_i | w_i \in D \wedge \omega(w_i) = 1\}$.

Definicja 4. Niech $V = [v_1 \ v_2 \ v_3 \ v_4]$ będzie wektorem wierszowym, $\forall i \in \{1, 2, 3, 4\}: v_i \in \mathbb{R}$.

Definiujemy nieuporządkowany zbiór $Y = \{V_0, V_1, \dots, V_N\}$, który jest zbiorem wektorów określonych wcześniej. Zapis $V[i]$ oznacza element nr i wektora V . Element pierwszy oznaczamy jako $V[1]$.

Definicja 5. Funkcja Λ^G dla indeksu lub instrumentu finansowego G zdefiniowana jest następująco:

$$\Lambda^G: D \rightarrow Y^G, \text{ gdzie:}$$

- G – nazwa indeksu giełdowego lub instrumentu finansowego,
- D – zbiór określony w definicji 1,
- Y^G – $Y^G \subset Y$, Y - zbiór określony w definicji 4.

Dla $d_i \in D$ funkcja Λ^G przyjmuje wartość $V_i^G \in Y^G$, $V_i^G = [v_1^i \ v_2^i \ v_3^i \ v_4^i]$. Poszczególne elementy wektora V_i^G mają następujące znaczenie:

- $V_i^G[1] = v_1^i$ – pierwsza zanotowana wartość G w dniu wyceny d_i
- $V_i^G[2] = v_2^i$ – największa zanotowana wartość G w dniu wyceny d_i
- $V_i^G[3] = v_3^i$ – najmniejsza zanotowana wartość G w dniu wyceny d_i
- $V_i^G[4] = v_4^i$ – ostatnia zanotowana wartość G w dniu wyceny d_i

Definicja 6. Funkcja Λ^{Gr} dla indeksu lub instrumentu finansowego G zdefiniowana jest następująco: $\Lambda^{Gr}: W \rightarrow Y^{Gr}$, gdzie:

- G – nazwa indeksu giełdowego lub instrumentu finansowego,
- W – zbiór określony w definicji 3,
- Y^{Gr} – $Y^{Gr} \subset Y$, Y - zbiór określony w definicji 4.

Dla $w_i \in W$ funkcja $\Lambda^{G\tau}$ przyjmuje wartość $V_i^{G\tau} \in Y^{G\tau}$, $V_i^{G\tau} = [v_1^{i\tau} \ v_2^{i\tau} \ v_3^{i\tau} \ v_4^{i\tau}]$. Poszczególne elementy wektora $V_i^{G\tau}$ mają następujące znaczenie:

$V_i^{G\tau}[1] = v_1^{i\tau}$ – pierwsza zanotowana wartość G w tygodniu kalendarzowym zawierającym dzień w_i

$V_i^{G\tau}[2] = v_2^{i\tau}$ – największa zanotowana wartość G w tygodniu kalendarzowym zawierającym dzień w_i

$V_i^{G\tau}[3] = v_3^{i\tau}$ – najmniejsza zanotowana wartość G w tygodniu kalendarzowym zawierającym dzień w_i

$V_i^{G\tau}[4] = v_4^{i\tau}$ – ostatnia zanotowana wartość G w tygodniu kalendarzowym zawierającym dzień w_i

Funkcje Λ^G i $\Lambda^{G\tau}$ dla indeksu lub instrumentu finansowego należy przygotować na podstawie danych dostarczanych przez dystrybutora danych Giełdy papierów Wartościowych (GPW). Jeżeli z pewnych powodów nie są dostępne wartości $V_i^G[1]$, $V_i^G[2]$, $V_i^G[3]$, to przyjmujemy, że są one równe wartości $V_i^G[4]$.

4. Architektura systemu ekspertowego

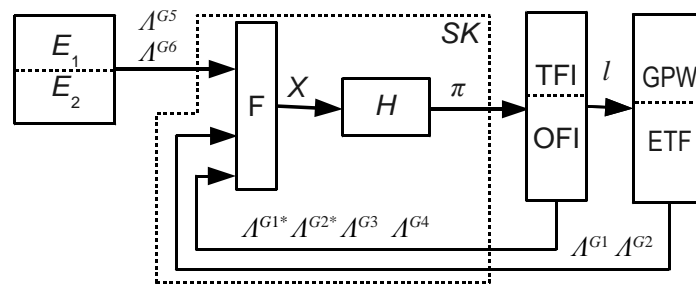
Dane są:

- indeksy G_1 i G_2 publikowane przez GPW,
- instrumenty finansowe G_1^* , G_2^* , G_3 , G_4 dostępne w TFI_x ,
- emitowane przez emitentów E_1 i E_2 dłużne instrumenty finansowe G_5 i G_6 , charakteryzujące się niskim ryzykiem inwestycyjnym i wysokim ratingiem.

Tabela 1 wyjaśnia prawidłowy dobór indeksów i instrumentów finansowych. Dla wspomnianych indeksów i instrumentów finansowych określone są funkcje Λ^{G1} , Λ^{G2} , ..., Λ^{G6} , Λ^{G1^*} , Λ^{G2^*} , z tym że funkcje Λ^{G5} i Λ^{G6} zwracają wartość oprocentowania ostatniej na dzień d_i emisji obligacji rodzaju b_1 i b_2 . Konkretnie nazwy indeksów i instrumentów finansowych, nazwa TFI , oznaczenia rodzaju obligacji oraz nazwy emitentów zależą od rynku, na którym planowane są inwestycje. Rzeczywiste dane, które wykorzystane zostały do przeprowadzenia eksperymentów na rynku polskim, podane są w sekcji 4.

Architektura systemu pokazana jest na rysunku 1. Bloki funkcyjne systemu opisane są w tabeli 2. Sygnały występujące na rysunku 1 opisane są w tabeli 3.

Działanie systemu jest następujące. Blok F formuje wektor parametrów wejściowych dla bloku H . Blok H reprezentuje strategię inwestycyjną, która na podstawie wartości wektora X wyznacza decyzję inwestycyjną π . Decyzja inwestycyjna przekazywana jest do TFI . Zadaniem TFI jest złożenie zlecenia l , które to zlecenie jest realizacją decyzji inwestycyjnej π .



Rys. 1. Architektura systemu

Fig. 1. The architecture of the system

Tabela 1. Dobór indeksów i instrumentów finansowych

Table 1. A selection of indexes and financial instruments

Symbol	Znaczenie
G_1	indeks największych i najbardziej płynnych spółek, np. dla GPW w Warszawie są to WIG20 lub WIG30, dla Deutsche Boerse DAX
G_2	indeks spółek średniej wielkości, np. dla giełdy w Warszawie jest to mWIG40, dla giełdy we Frankfurcie mDAX
G_1^*	otwarty fundusz inwestycyjny lub ETF naśladowujący indeks G_1
G_2^*	otwarty fundusz inwestycyjny lub ETF naśladowujący indeks G_2
E_1, E_2	emitenci instrumentów finansowych niskiego ryzyka (obligacje, bony skarbowe) o wysokim ratingu; może to być np. skarb państwa
G_5	instrumenty krótkoterminowe wyemitowane przez emitenta E_1 , np. dwuletnie obligacje skarbowe, bony skarbowe 52-tygodniowe
G_6	instrumenty długoterminowe wyemitowane przez emitenta E_2 , np. 10-letnie obligacje skarbowe
G_3	otwarty fundusz inwestycyjny lub ETF rynku pieniężnego; statut OFI lub ETF zakłada inwestowanie w instrumenty G_5 lub podobne
G_4	otwarty fundusz inwestycyjny lub ETF rynku obligacji długoterminowych; statut OFI lub ETF zakłada inwestowanie w instrumenty G_6 lub podobne

Tabela 2. Opis bloków funkcyjnych systemu ekspertowego

Table 2. Description of functional blocks of the expert system

Blok	Znaczenie
F	blok formujący parametry wejściowe X bloku H
H	blok strategii inwestycyjnej
TFI, OFI	Towarzystwo Funduszy Inwestycyjnych, Otwarty Fundusz Inwestycyjny
GPW	giełda papierów wartościowych
ETF	Fundusz inwestycyjny typu Exchange-traded fund

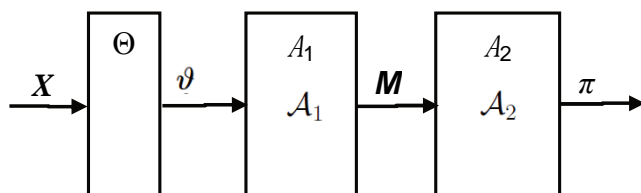
Tabela 3. Opis sygnałów systemu ekspertowego

Table 3. Description of signals of the expert system

Symbol	Znaczenie
Λ	Notowania instrumentów finansowych (patrz tabela 1)
\mathbf{X}	Wektor wierszowy postaci $\mathbf{X}=[\Lambda^{G^1} \Lambda^{G^2} \Lambda^{G^3} \Lambda^{G^4} \Lambda^{G^5} \Lambda^{G^6}]$
π	rezultat działania strategii inwestycyjnej (sugestia zainwestowania x% kapitału w instrument $G \in \{G_1^*, G_2^*, G_3, G_4\}$)
l	Zlecenie operacji finansowej

4.1. Strategia inwestycyjna

Struktura bloku strategii inwestycyjnej (blok H z rys. 1) pokazana jest na rys. 2. Blok funkcyjny Θ wyznacza wartości wskaźników analizy technicznej i przetwarza je na wartości binarne ϑ , które są podawane na wejście automatu A_1 . Poszczególne składowe wektora ϑ mają znaczenie opisane w tabeli 4 i przyjmują wartości ze zbioru $\{0, 1\}$.



Rys. 2. Struktura bloku H z rys. 1

Fig. 2. The structure of the block H from the fig. 1

Tabela 4. Znaczenie składowych wektora ϑ z4 rys. 2Table 4. Description of components of the ϑ vector from the fig. 2

Numer	Znaczenie
1	rynek instrumentu G_4 wchodzi w fazę spadku
2	rynek instrumentu G_4 wchodzi w fazę wzrostu
3	rynek instrumentu G_1 wchodzi w fazę wzrostu
4	rynek instrumentu G_1 przechodzi ze wzrostu w fazę spadku
5	rynek instrumentu G_1 przechodzi z wykupienia w fazę spadku
6	rynek instrumentu G_1 wchodzi w fazę wykupienia
7	rynek instrumentu G_2 wchodzi w fazę wzrostu
8	rynek instrumentu G_2 przechodzi ze wzrostu w fazę spadku
9	rynek instrumentu G_2 przechodzi z wykupienia w fazę spadku
10	rynek instrumentu G_2 wchodzi w fazę wykupienia

Tabela 5. Znaczenie składowych wektora M z rys. 2Table 5. Description of components of the M vector from the fig. 2

Numer	Znaczenie
1	rynek instrumentu G_4 jest w fazie wzrostu
2	rynek instrumentu G_3 jest w fazie wzrostu
3	rynek instrumentu G_1 jest w fazie spadku
4	rynek instrumentu G_1 jest w fazie wzrostu
5	rynek instrumentu G_1 jest w fazie wykupienia
6	rynek instrumentu G_2 jest w fazie spadku
7	rynek instrumentu G_2 jest w fazie wzrostu
8	rynek instrumentu G_2 jest w fazie wykupienia

Zadaniem automatu A_1 jest podjęcie decyzji, w jakiej fazie znajdują się rynki kapitałowe instrumentów G_1, G_2, G_3, G_4 . Faza ta opisana jest wektorem M , którego składowe mają znaczenie opisane w tabeli 5 i przyjmują wartości ze zbioru $\{0, 1\}$.

Automat A_2 , na podstawie wektora M , podejmuje decyzję inwestycyjną π . Decyzję tę należy interpretować jako zlecenie zamiany jednostek uczestnictwa pomiędzy funduszami dostępnymi w *TFI*.

Podział systemu na dwa automaty zmniejsza jego złożoność, ułatwia interpretację zachowania się systemu i umożliwia nadzór nad działaniem ze strony człowieka.

4.2. Automat A_1

Modelem automatu jest sieć Petriego (PN) o następującej macierzy incydencji:

$$C = \begin{matrix} & t_1 & t_2 & t_3 & t_4 & t_5 & t_6 & t_7 & t_8 & t_9 & t_{10} \\ \begin{matrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \\ P_7 \\ P_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

Jest to klasyczna znakowana interpretowana sieć binarna o jednostkowej pojemności miejsc i łuków. Znakowanie początkowe automatu A_1 określone jest przez wektor $M_0 = [0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0]^T$

Znaczenie tranzycji jest identyczne ze znaczeniem składowych wektora Φ , wyjaśnionym w tabeli 4. Znaczenie miejsc wyjaśnia tabela 5.

Korzystając z twierdzenia o rzędzie z [2] w prosty sposób można wykazać, że automat A_1 jest siecią Petriego dobrze zbudowaną [12]. W PN o strukturze

danej macierzą incydencji z równania 1 występują konflikty. Rozwiązane są one w ten sposób, że z tranzycji będących w konflikcie odpala wyłącznie jedna. Priorytet ustalony jest przy pomocy równań zawartych w bloku funkcyjnym Θ . Bloki te należy napisać w taki sposób, żeby nie dopuścić do jednoczesnego wygenerowania sygnałów informujących o wykupieniu rynku i wejścia rynku w fazę spadku.

Niech T^* będzie następującą macierzą:

$$T^* = \begin{bmatrix} \mathcal{F}(t_1) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathcal{F}(t_2) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mathcal{F}(t_3) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mathcal{F}(t_4) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mathcal{F}(t_5) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mathcal{F}(t_6) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mathcal{F}(t_7) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mathcal{F}(t_8) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mathcal{F}(t_9) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mathcal{F}(t_{10}) \end{bmatrix}$$

gdzie:

$$\mathcal{F}(t_j) = \begin{cases} 1 & \Leftrightarrow \text{tranzycja } t_j \text{ jest przygotowana do odpalenia w znakowaniu } \mathbf{M} \\ 0 & \Leftrightarrow \text{tranzycja } t_j \text{ nie jest przygotowana do odpalenia w znakowaniu } \mathbf{M} \end{cases}$$

Równanie algebraiczne automatu ma postać:

$$\mathbf{M}_{i+1} = \mathbf{M}_i + \mathbf{C} \cdot (\mathbf{T}^* \cdot \vartheta) \quad (2)$$

gdzie:

$$\vartheta = [f1(di) \ f2(di) \ \dots \ f10(di)]T \quad (3)$$

Funkcje $f_1(d_i), \dots, f_{10}(d_i)$ wyznaczają momenty zmiany trendów na rynkach instrumentów G_1, G_2, G_3, G_4 i opisane są w tabeli 4. Instrumenty finansowe G_3 i G_4 są powiązane ze sobą w ten sposób, że faza spadku na rynku G_4 jest jednoznaczna z fazą wzrostu rynku G_3 . Dlatego w tabeli 7 nie występuje informacja o instrumencie G_3 .

4.3. Automat A_2

Automat A_2 jest automatem Mealy'ego [6], o strukturze $(Z, Z_0, \Sigma, \Pi, \Phi, \Psi)$, gdzie:

- $Z = \{s_0, s_1, \dots, s_8\}$ jest zbiorem stanów wewnętrznych,
- $Z_0 = s_1$ jest stanem początkowym,
- $\Sigma = \{\sigma \mid \sigma = f(\mathbf{M})\}$ jest alfabetem wejściowym, gdzie \mathbf{M} jest wektorem z równania 2, a funkcja f dana jest tabelą 6,
- $\Pi = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{17}\}$ jest alfabetem wyjściowym,
- $\Phi : Z \times \Sigma \rightarrow Z$ jest funkcją przejścia (patrz tabela 7),
- $\Psi : Z \times \Sigma \rightarrow \Pi$ jest funkcją wyjścia (patrz tabela 8).

Tabela 6. Funkcja wyznaczająca alfabet wejściowy Σ automatu A_2 Table 6. The function evaluating the input alphabet Σ of the automaton A_2

\mathbf{M}	$\sigma = f(\mathbf{M})$	\mathbf{M}	$\sigma = f(\mathbf{M})$
[01100100]	σ_1	[10100100]	σ_0
[01100010]	σ_3	[10100010]	σ_3
[01100001]	σ_5	[10100001]	σ_7
[01010100]	σ_2	[10010100]	σ_2
[01010010]	σ_6	[10010010]	σ_6
[01010001]	σ_2	[10010001]	σ_2
[01001100]	σ_4	[10001100]	σ_8
[01001010]	σ_3	[10001010]	σ_3
[01001001]	σ_6	[10001001]	σ_6

Tabela 7. Funkcja przejścia Φ automatu A_2 Table 7. The transfer function Φ of the automaton A_2

stan	wejście	stan nast.	stan	wejście	stan nast.	stan	wejście	stan nast.
s_0	σ_1	s_1	s_3	σ_0	s_0	s_6	σ_0	s_0
s_0	σ_2	s_2	s_3	σ_1	s_1	s_6	σ_1	s_1
s_0	σ_3	s_3	s_3	σ_2	s_2	s_6	σ_2	s_2
s_0	σ_6	s_6	s_3	σ_4	s_4	s_6	σ_3	s_3
s_1	σ_0	s_0	s_3	σ_5	s_5	s_6	σ_4	s_4
s_1	σ_2	s_2	s_3	σ_6	s_6	s_6	σ_5	s_5
s_1	σ_3	s_3	s_3	σ_7	s_7	s_6	σ_7	s_7
s_1	σ_6	s_6	s_3	σ_8	s_8	s_6	σ_8	s_8
s_2	σ_0	s_0	s_4	σ_0	s_0	s_7	σ_0	s_0
s_2	σ_1	s_1	s_4	σ_1	s_1	s_7	σ_1	s_1
s_2	σ_3	s_3	s_4	σ_3	s_3	s_7	σ_2	s_2
s_2	σ_4	s_4	s_4	σ_8	s_8	s_7	σ_5	s_5
s_2	σ_5	s_5	s_5	σ_0	s_0	s_8	σ_0	s_0
s_2	σ_6	s_6	s_5	σ_1	s_1	s_8	σ_1	s_1
s_2	σ_7	s_7	s_5	σ_2	s_2	s_8	σ_3	s_3
s_2	σ_8	s_8	s_5	σ_7	s_7	s_8	σ_4	s_4

5. Użycie systemu ekspertowego

Przyjmijmy założenie początkowe, że za kapitał przeznaczony na inwestycje zakupione zostały jednostki uczestnictwa funduszu rynku pieniężnego G_3 . W celu wyznaczenia decyzji finansowej na dzień d_{i+1} należy:

- w dniu wyceny d_i , po zamknięciu notowań GPW i opublikowaniu przez TFI aktualnych wycen obserwowanych instrumentów finansowych, uzupełnić funkcje Λ^G ,
- z równania 1 wyznaczyć wektor \mathbf{M}_{i+1} ,
- z tabeli 6 wyznaczyć słowo wejściowe automatu A_1 ,
- z tabel 7 i 8 wyznaczyć stan następny i wyjście automatu A_2 ,
- z tabeli 9 odczytać operację zamiany jednostek uczestnictwa TFI.

Tabela 8. Funkcja wyjścia Ψ automatu A_2 Table 8. The output function Ψ of the automaton A_2

stan	wejście	wyjście	stan	wejście	wyjście	stan	wejście	wyjście
s_0	σ_1	π_1	s_3	σ_0	π_2	s_6	σ_0	π_2
s_0	σ_2	π_3	s_3	σ_1	π_1	s_6	σ_1	π_1
s_0	σ_3	π_4	s_3	σ_2	π_3	s_6	σ_2	π_3
s_0	σ_6	π_5	s_3	σ_4	π_{11}	s_6	σ_3	π_4
s_1	σ_0	π_2	s_3	σ_5	π_{12}	s_6	σ_4	π_{11}
s_1	σ_2	π_3	s_3	σ_6	π_{13}	s_6	σ_5	π_7
s_1	σ_3	π_4	s_3	σ_7	π_{14}	s_6	σ_7	π_9
s_1	σ_6	π_5	s_3	σ_8	π_{15}	s_6	σ_8	π_{15}
s_2	σ_0	π_2	s_4	σ_0	π_2	s_7	σ_0	π_2
s_2	σ_1	π_1	s_4	σ_1	π_1	s_7	σ_1	π_1
s_2	σ_3	π_4	s_4	σ_3	π_4	s_7	σ_2	π_3
s_2	σ_4	π_6	s_4	σ_8	π_{16}	s_7	σ_5	π_{17}
s_2	σ_5	π_7	s_5	σ_0	π_2	s_8	σ_0	π_2
s_2	σ_6	π_8	s_5	σ_1	π_1	s_8	σ_1	π_1
s_2	σ_7	π_9	s_5	σ_2	π_3	s_8	σ_3	π_4
s_2	σ_8	π_{10}	s_5	σ_7	π_7	s_8	σ_4	π_{17}

Tabela 9. Operacja finansowa w zależności od wyjścia automatu A_2 Table 9. A financial operation depending on the output of the automaton A_2

π_x	G_3^*	G_4^*	G_1^*	G_2^*	π_x	G_3^*	G_4^*	G_1^*	G_2^*
π_1	100%	-100%	-100%	-100%	π_{10}	0%	100%	-50%	0%
π_2	-100%	100%	-100%	-100%	π_{11}	100%	0%	0%	-100%
π_3	-100%	-100%	100%	-100%	π_{12}	100%	0%	-100%	-50%
π_4	-100%	-100%	-100%	100%	π_{13}	0%	0%	100%	-50%
π_5	-100%	-100%	50%	50%	π_{14}	0%	100%	0%	-50%
π_6	100%	0%	-50%	0%	π_{15}	0%	100%	0%	-100%
π_7	100%	0%	-100%	0%	π_{16}	-100%	100%	0%	0%
π_8	0%	0%	-50%	100%	π_{17}	100%	-100%	0%	0%
π_9	0%	100%	-100%	0%					

Tabela 9 pokazuje przyporządkowanie operacji zamiany, jakie należy wykonać na funduszach w zależności od wyjścia automatu A_2 . Sposób czytania tabeli wyjaśniony zostanie na przykładach:

- π_1 : należy dokonać konwersji wszystkich jednostek uczestnictwa z funduszy G_1^* , G_2^* , G_4 do funduszu G_3 ,
- π_5 : należy dokonać konwersji wszystkich jednostek uczestnictwa z funduszy G_3 i G_4 do funduszy G_1^* i G_2^* w taki sposób, że środki podzielone są po równo między fundusze G_1^* i G_2^* ,
- π_8 : 50% inwestycji z funduszu G_1^* należy przenieść w całości do funduszu G_2^* .

W państwach, w których podatek od zysków kapitałowych płaci się od przychodów, przeniesień należy wykonywać na zasadzie zamiany jednostek uczestnictwa w funduszu parasolowym. W przypadku, gdy podatek płacony jest od dochodu, można przenosić kapitał między różnymi TFI, lecz ze względu na

opóźnienia wnoszone przez takie transakcje, może to negatywnie wpłynąć na wynik inwestycji.

6. Eksperyment z zastosowaniem systemu

W celu weryfikacji poprawności modelu przeprowadzono eksperyment, polegający na implementacji bloku Θ strategii inwestycyjnej oraz inwestowaniu zgodnie z sygnałami generowanymi przez system. Indeksy giełdowe i fundusze inwestycyjne, które zostały zastosowane w eksperymencie, wymienione są w tabeli 10. Do budowy bloku Θ wykorzystano wybrane wskaźniki analizy technicznej podane w literaturze [8, 9].

6.1. Parametry systemu

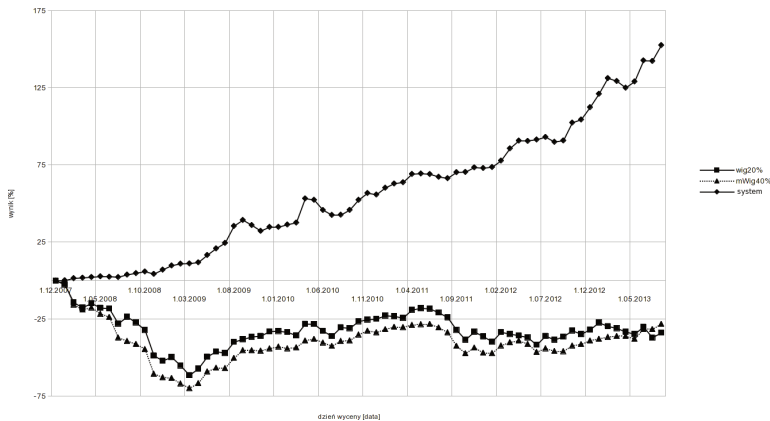
Strategia inwestycyjna Θ ma postać funkcji parametrycznych. Na podstawie danych historycznych indeksów G_1 i G_2 z zakresu od 18.04.2005 do 31.12.2011, dobrane zostały wartości parametrów występujące w tych funkcjach. Źródłem danych historycznych był serwis internetowy GPW w Warszawie [13]. Dobierając parametry funkcji przyjęto założenie, że system w okresach roku kalendarzowego nie powinien przynosić straty. Szczegóły bloku Θ stanowią know-how pracodawcy autora i nie zostaną ujawnione.

6.2. Wyniki systemu

Pokazane zostaną wyniki eksperymentalne i rzeczywiste, jakie uzyskał system przy dobranych parametrach. Eksperyment symulacyjny przeprowadzono w następujący sposób:

1. Przyjęto założenia początkowe:
 - 1.1. Dostępny jest kapitał początkowy k przeznaczony na inwestycję.
 - 1.2. Istnieje biuro maklerskie, które nie pobiera opłat za operacje nabycia, konwersji i zbycia jednostek uczestnictwa funduszy inwestycyjnych. Założenie to było spełnione w Polsce w czasie prac opisanych w tym artykule.
2. Ze źródeł [1, 10, 13] pobrane zostały notowania instrumentów finansowych wymienionych w tabeli 10.
3. Dla pierwszego dnia notowań z pobranego zbioru danych, wyznaczono liczbę jednostek uczestnictwa funduszu inwestycyjnego typu gotówkowego, która odpowiada kapitałowi k ; operacja ta odpowiada zakupowi jednostek uczestnictwa funduszu.
4. Dla każdego dnia, w którym odbywała się sesja GPW:
 - 4.1. Dokonano obliczeń wg sposobu podanego w punkcie 3 artykułu i przeprowadzono operację π wskazaną przez system ekspertowy.
 - 4.2. Obliczono sumę wartości jednostek uczestnictwa zainwestowanych w poszczególne fundusze inwestycyjne, wg wyceny opublikowanej przez TFI.

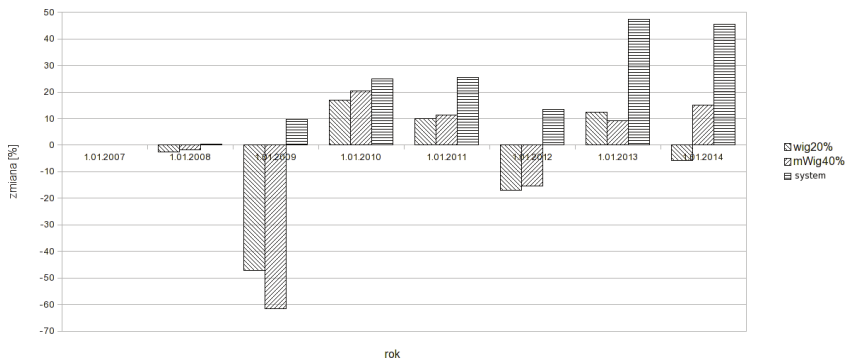
Suma ta stanowi wartość inwestycji w dniu notowań i jest pokazana na wykresie na rys. 3 (seria „system”).



Rys. 3. Porównanie wyników systemu ekspertowego z indeksami WIG20 i mWIG40

Fig. 3. Comparison of the system results with indexes WIG20 and mWIG40.

Rys. 3 pokazuje wartość inwestycji wyznaczoną na koniec miesiąca kalendarzowego w okresie od 1.12.2007 do 1.08.2013 w porównaniu do wartości indeksów WIG20 i mWIG40 publikowanych przez GPW w Warszawie. Każdy punkt na wykresie odpowiada wartości inwestycji (wartości indeksów WIG20, mWIG40) wyznaczonej względem pierwszego dnia eksperymentu. Od dnia 1.01.2012 pojawiają się dane, których nie zawierał zbiór użyty do doboru parametrów systemu. Rys. 4 pokazuje względne zmiany wartości inwestycji w stosunku rocznym, w porównaniu do rocznych zmian wartości indeksów WIG20 i mWIG40.



Rys. 4. Zmiana zainwestowanego kapitału w stosunku rocznym

Fig. 4. Annual investment change

Tabela 10. Instrumenty finansowe i podmioty użyte w eksperymencie

Table 10. Financial instruments and entities used during the experiment

symbol	znaczenie
TFI_x	TFI PZU S.A.
G_1	Wig20
G_2	mWig40
G_1^*	Subfundusz PZU Krakowiak
G_2^*	Subfundusz PZU Małych i Średnich Spółek
G_3	Subfundusz PZU Gotówkowy
G_4	Subfundusz PZU Papierów Dłużnych Polonez
G_5	Obligacje 4-letnie o symbolu OCI, emitowane przez ministra finansów RP
G_6	Obligacje 10-letnie o symbolu EDO, emitowane przez ministra finansów RP
E_1, E_2	Minister finansów RP

Od dnia 27.02.2013 autor inwestował na rachunku rzeczywistym, biorąc pod uwagę zalecenia systemu. Rys. 5 pokazuje wynik rzeczywistych inwestycji. Kwoty przeskalowano, przyjmując 100 zł za wartość początkową.

GRZEGÓRZ WOJCIECH DEC					
Fundusze inwestycyjne					
Lista operacji wykonanych					
Data zlecenia	Data wyceny transakcji	Nazwa funduszu	Typ transakcji	Kwota transakcji	Wartość rejestru po transakcji
11-10-2013	11-10-2013	PZU SUBFUNDUSZ AKCJI MISS	STAN REJESTRU		123 PLN
11-09-2013	12-09-2013	PZU SUBFUNDUSZ AKCJI MISS	KONWERSJA	117 PLN	117 PLN
11-09-2013	12-09-2013	PZU SUBFUNDUSZ GOTOWKOWY	KONWERSJA	117 PLN	0,00 PLN
19-08-2013	19-08-2013	PZU SUBFUNDUSZ GOTOWKOWY	KONWERSJA	117 PLN	117 PLN
19-08-2013	19-08-2013	PZU SUBFUNDUSZ AKCJI MISS	KONWERSJA	117 PLN	0,00 PLN
18-07-2013	19-07-2013	PZU SUBFUNDUSZ AKCJI MISS	KONWERSJA	106 PLN	106 PLN
18-07-2013	19-07-2013	PZU SUBFUNDUSZ GOTOWKOWY	KONWERSJA	106 PLN	0,00 PLN
24-06-2013	25-06-2013	PZU SUBFUNDUSZ GOTOWKOWY	KONWERSJA	105 PLN	105 PLN
24-06-2013	25-06-2013	PZU SUBFUNDUSZ AKCJI MISS	KONWERSJA	105 PLN	0,00 PLN
12-05-2013	13-05-2013	PZU SUBFUNDUSZ AKCJI MISS	KONWERSJA	100 PLN	100 PLN
12-05-2013	13-05-2013	PZU SUBFUNDUSZ GOTOWKOWY	KONWERSJA	100 PLN	0,00 PLN
24-03-2013	25-03-2013	PZU SUBFUNDUSZ GOTOWKOWY	KONWERSJA	97 PLN	99 PLN
24-03-2013	25-03-2013	PZU SUBFUNDUSZ AKCJI MISS	KONWERSJA	97 PLN	0,00 PLN
05-03-2013	05-03-2013	PZU SUBFUNDUSZ AKCJI MISS	KONWERSJA	55 PLN	98 PLN
05-03-2013	05-03-2013	PZU SUBFUNDUSZ AKCJI KRAKOWIAK	KONWERSJA	55 PLN	0,00 PLN
27-02-2013	28-02-2013	PZU SUBFUNDUSZ AKCJI KRAKOWIAK	KONWERSJA	54 PLN	54 PLN
27-02-2013	28-02-2013	PZU SUBFUNDUSZ GOTOWKOWY	KONWERSJA	54 PLN	2 PLN
27-02-2013	28-02-2013	PZU SUBFUNDUSZ AKCJI MISS	KONWERSJA	44 PLN	44 PLN
27-02-2013	28-02-2013	PZU SUBFUNDUSZ GOTOWKOWY	KONWERSJA	44 PLN	57 PLN
21-02-2013	21-02-2013	PZU SUBFUNDUSZ GOTOWKOWY	Nabycie	100 PLN	100 PLN

Rys. 5. Wynik inwestycji na rachunku rzeczywistym

Fig. 5. The result of a real investment

7. Podsumowanie

Rezultaty pokazane w pracy wydają się być obiecujące, pomimo zastosowania pewnych uproszczeń. System ekspertowy jest statyczny i wskazane jest kontynuowanie prac rozwojowych w kierunku uzupełnienia go o elementy adaptacji. Inną możliwością rozwoju jest użycie kilku strategii inwestycyjnych i algorytmu wybierającego strategię optymalną. Brak tych rozwiązań nie wpłynął negatywnie na wyniki systemu w okresach bessy. W roku 2008 wystąpił kryzys światowego systemu bankowego, w kolejnych latach upadły systemy bankowe w Grecji i na Cyprze. Wydarzenia te wpłynęły znacząco na indeksy giełdowe. Stosowanie się do wskazówek systemu pozwoliłoby mimo tego osiągnąć zyski z inwestycji.

Należy podkreślić, że posługiwanie się automatem przedstawiony w artykule nie zwalnia z obowiązku samodzielnego myślenia. Decyzje podejmowane przez system powinny być traktowane jako wskazówki do rozważenia, a nie polecenia eksperta. Inwestowanie w obligacje skarbowe w okresie, gdy stopy procentowe banku centralnego są najniższe w historii jest równie nierozsądne, jak kupowanie akcji w kraju, za granicą którego toczą się działania wojenne. Wskazane jest również obserwowanie komunikatów wydawanych przez wybrane TFI i zarząd giełdy. Zdarza się, że wybrany OFI zmienia politykę inwestycyjną lub wybrany indeks giełdowy zostaje zlikwidowany i zastąpiony innym. Wystąpienie wymienionych wcześniej okoliczności sprawiło, że eksperyment polegający na inwestowaniu na rachunku rzeczywistym został zakończony.

Literatura

- [1] Redakcja Biznesradar. Notowania funduszy inwestycyjnych. http://www.biznesradar.pl/fundusze/krajowe_akcji, 9 2013.
- [2] Joerg Desel. A proof of the rank theorem for extended free choice nets. In K. Jensen, editor, *Application and Theory of Petri Nets 1992*, volume 616 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 134–153. Springer Berlin Heidelberg, 1992.
- [3] Curtis Faith. *Way of the Turtle: The Secret Methods that Turned Ordinary People into Legendary Traders*. McGraw-Hill; 1 edition, 2007.
- [4] Robert Fischer. *Liczby Fibonacciego na giełdzie*. WIG PRESS, 1996.
- [5] Biuro Marketingu Grupa PZU. Witryna internetowa TFI PZU S.A. <http://www.pzu.pl/grupa-pzu/tfi-pzu>, wrzesień 2013.
- [6] George H. Mealy. A Method for Synthesizing Sequential Circuits. *Bell System Technical Journal*, 34:1045–1079, 1955.
- [7] Hanna Morawska. Efektywność zabezpieczenia portfela akcji za pomocą kontraktów terminowych futures na wig 20. In W. Tarczyński, editor, *Rynek kapitałowy w przededniu integracji Polski z Unią Europejską*, All ACM Conferences, pages 167–179, Szczecin, 2004. Polskie Towarzystwo Ekonomiczne.

- [8] John J. Murphy. Analiza techniczna rynków finansowych. WIG Press, 1999.
- [9] Steve Nison. Świece i inne japońskie techniki analizowania wykresów. WIG PRESS, 1996.
- [10] Ministerstwo Finansów RP. Baza transakcji - bony skarbowe. <http://www.finance.mf.gov.pl/web/wp/dlug-publiczny/bony-i-obligacje-hurtowe/baza-transakcji>, 9 2013.
- [11] Ministerstwo Finansów RP. Serwis internetowy obligacji skarbowych. <http://www.obligacjeskarbowe.pl>, wrzesień 2013.
- [12] P.H. Starke and J. Żurek. Sieci Petri: podstawy, zastosowania, teoria. PWN, 1987.
- [13] GPW w Warszawie. Archiwum notowań. <http://www.gpwinfostrefa.pl>, 9 2013.

A MODEL OF A SYSTEM FOR SUPPORTING INVESTMENT DECISIONS

Summary

The paper contains a description of a model of an automaton, that is intended to supporting investment decisions on a capital market. The author accomplished a review of commercial offers, that are designed to take financial decisions. He also proposed an architecture of a system, that on the basis of current quotations of selected financial instruments, decides to change holdings between mutual funds or buy or sell shares of an ETF. The financial instrument can be: indexes of stock exchanges, selected mutual funds, ETFs or bonds of selected issuers. The system consists of two connected automatons. The first of them, modeled by a Petri net, hold information about current state of financial markets. The second one, modeled as a classic Mealy machine, keeps information about state of the holdings and takes the investment decisions. The Petri net changes its marking on the ground of external signals, which are selected signals of the technical analysis. These signals are connected with alterations of trends of financial instruments. The Mealy machine switches its state due to new Petri net marking. The transition between states causes that a decision is generated, what kind of a financial operation should be performed. Besides a formal description of models, the paper contains results of an experiment. The author chose some function of technical analysis, that are used by the system to decide of fall or growth of the bond and stock market. Using historical quotation from the period of 2008 – 2011, parameters of the functions have been calculated so that the system does not gain losses during the test years. Thereafter the author invested money on the real investment account for the period of 8 months, proceeding according to the system indications.

Keywords: expert system, stock exchange, mutual fund.

DOI: 10.7862/re.2015.22

Tekst złożono w redakcji: luty 2015

Przyjęto do druku: kwiecień 2015