

Krzysztof Piasecki, Michał Dominik Stasiak

Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu; Katedra Inwestycji i Nieruchomości

e-mails: krzysztof.piasecki@ue.poznan.pl; michal.stasiak@ue.poznan.pl

BADANIE PRZEWIDYWALNOŚCI ZMIAN KURSU ZŁOTEGO WOBEC EUR I USD

STUDY OF PREDICTABILITY OF PLN TO EUR AND USD EXCHANGE RATE

DOI: 10.15611/pn.2018.531.34

JEL Classification: C61, F31, G11, G17

Streszczenie: Od lat toczą się spory o zasadność wykorzystywania metod analizy technicznej do predykcji przyszłych zmian kursu. Często w badaniach zakłada się brak wpływu historycznych zmian na bieżący przebieg kursu. Takie założenie podważa zasadność wykorzystania jakichkolwiek metod analizy technicznej do prognozowania rynku. W artykule zaprezentowano sposób weryfikacji tego założenia dla notowań kursu złotego w stosunku do dwóch głównych walut: dolara amerykańskiego oraz euro. W badaniu wykorzystano reprezentację binarną, która jest o wiele dokładniejsza niż reprezentacja świecowa. Reprezentacja ta umożliwia wiarygodną weryfikację hipotezy o wpływie zmian historycznych na aktualny przebieg kursu z wykorzystaniem testowania statystycznego. Schemat badania dodatkowo pozwala na wyznaczenie zakresu jednostek dyskretyzacji, dla których otrzymana reprezentacja binarna może być wykorzystana do budowy systemów predykcyjnych wspomagających decyzje inwestycyjne na rynku walutowym.

Słowa kluczowe: rynek walutowy, modelowanie kursów walutowych, wspieranie decyzji inwestycyjnych.

Summary: For years, there have been many disputes concerning application of technical analysis methods to predict future exchange rate changes. Often the research assumes no impact of historical data on the current course trajectory. Such an assumption undermines the legitimacy of using any technical analysis methods to forecast the market. The article presents a verification method for this assumption, performed on quotations of PLN exchange rate in relation to two main currencies: US dollar and Euro. The study uses a binary representation which is much more accurate than the candlestick representation. This representation enables reliable verification of the hypothesis about the impact of historical data on the current course trajectory with use of statistical testing. The survey scheme additionally allows to determine the range of discretization units for which the obtained binary representation can be used to construct predictive systems supporting investment decisions on the currency market.

Keywords: foreign exchange market, exchange rate modelling, currency market investment decision support.

1. Wstęp

Od wielu lat trwają spory na temat zasadności zastosowania metod analizy technicznej w celu wspomagania decyzji inwestycyjnych na rynku walutowym. Na kierunek zmian kursu, ich zasięg oraz częstotliwość ma wpływ bardzo wiele czynników mierzalnych, jak np. stopy procentowe itd., oraz niemierzalnych, jak sytuacja geopolityczna, nastroje wśród inwestorów itd. W konsekwencji sparametryzowanie oraz uwzględnienie wszystkich czynników mających wpływ na wartość kursu jest praktycznie niewykonalne.

Z powodu olbrzymiej liczby czynników kształtujących wartość kursu (często wskazujących na przeciwne kierunki przyszłych zmian) w ekonomii pojawiają się teorie zakładające brak możliwości predykcji przyszłych zmian na podstawie analizy historycznych notowań. Główne teorie w tym nurcie to hipoteza błędzenia losowego [Bachelier 1900] i hipoteza rynku efektywnego [Fama 1970]. Wspólną cechą rynków efektywnych jest to, że cena danego waloru odwzorowuje wszystkie informacje o rynku. Wszystkie wersje hipotezy stanowią przesłankę do wniosku stwierdzającego, że stosowanie analizy technicznej nie może umożliwić osiągnięcie ponadprzeciętnych zysków. Hipoteza błędzenia losowego zakłada, że stopy zwrotu zmieniają się w sposób całkowicie niezależny.

Hipotezom tym przeciwstawia się analizę techniczną, która zakłada, że kursy poruszają się według określonych wzorców i trendów, które można wykorzystać w celu prognozowania. Przykładem może być tutaj popularna wśród analityków teoria Elliotta [Murphy 1986; Frost, Prechter 2005]. Powstało wiele publikacji opisujących główne założenia oraz warianty metod analizy technicznej np. [Murphy 1986; Schlossberg 2005; Burgess 2010].

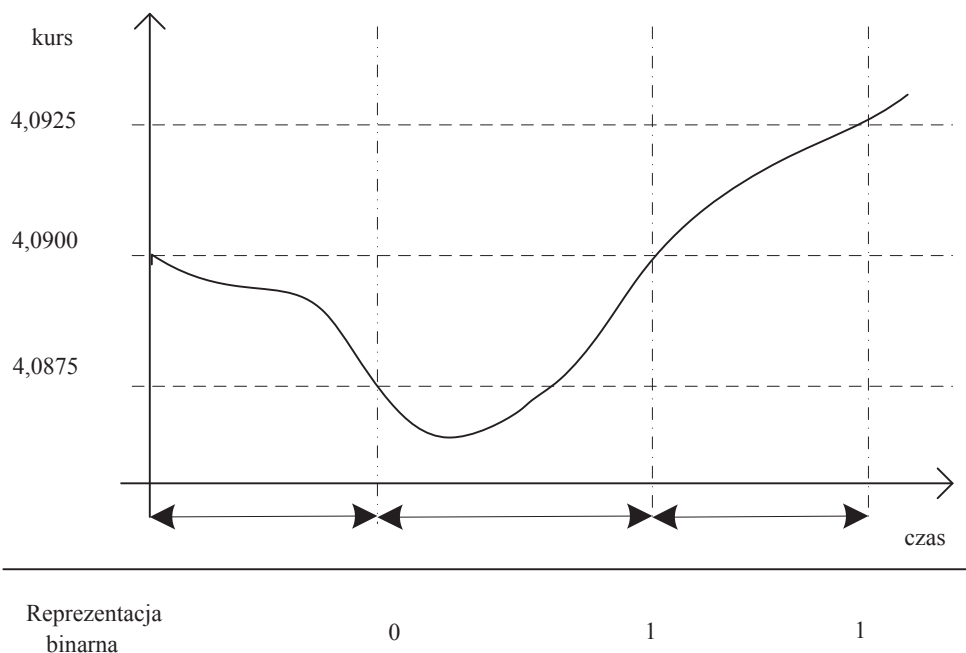
W literaturze brak jednoznacznej odpowiedzi oraz wiarygodnego sposobu weryfikacji charakteru zmian na rynku. W wielu publikacjach zastosowano metody statystyczne w celu wykazania przypadkowego charakteru zmian na rynku. Jednak analizy te były przeprowadzane na podstawie danych w reprezentacji świecowej, która już sama w sobie zakłada możliwość straty istotnych informacji o przebiegu kursu, co w konsekwencji prowadzi do niskiej wiarygodności przeprowadzanych analiz. Rezultaty te są zatem zależne od formatowania danych (przyjęcie interwału czasowego) i nie mogą być podstawą do wniosków o charakterze ogólnym dotyczących zmian na rynku.

W artykule przedstawiono metodę weryfikacji hipotezy o wpływie poprzedzających zmian kursu na kierunek zmian następujących z wykorzystaniem dokładniejszej od reprezentacji świecowej – reprezentacji binarnej, oraz testowania statystycznego. W artykule zaprezentowano rezultaty badań dla par walutowych EUR/PLN i USD/PLN.

2. Reprezentacja binarna kursu walutowego

2.1. Koncepcja reprezentacji binarnej

Notowania kursu walutowego zmieniają się średnio co 1-2 sekundy. Większość tych zmian może być rezultatem szumu [Logue, Sweeney 1977; Neely, Weller 2011] o jednostkowym zwrocie¹ równym kilku pips². Tak duża częstotliwość zmian powoduje konieczność zastosowania odpowiedniej reprezentacji kursu. Zdecydowana większość platform brokerskich wykorzystuje reprezentację świecową. Również większość wizualnych metod analizy technicznej wykorzystuje wykresy świecowe [Murphy 1986; Schlossberg 2005; Burgess 2010]. Odpowiednie wskaźniki są również wyznaczane na podstawie wybranego parametru świecy np. [Yazdi, Lashkari 2013]. W reprezentacji świecowej zmiany kursu dla przyjętego interwału czasowego są reprezentowane przez cztery zmienne: kurs otwarcia i zamknięcia oraz cenę maksymalną i minimalną, zarejestrowaną w przyjętym okresie.



Rys. 1. Przykładowa konwersja danych tikowych na dane binarne (JD = 25 pips)

Źródło: opracowanie własne.

¹ Jednostkowy zwrot jest ilorazem zwrotu wyrażonego w walucie notowanej przez kwotę waluty bazowej [Piasecki, Stasiak 2018a].

² Pips to jednostka zmiany notowań kursu walutowego. Dla większości par walutowych 1 pips = 0,0001. Jedynym wyjątkiem jest tutaj jen japoński, dla którego 1 pips = 0,01.

Stosowanie reprezentacji świecowej, w której parametry świecy są zależne od narzuconego interwału czasowego, prowadzi do utraty wielu istotnych informacji o zmienności kursu „wewnątrz” świecy. Analizowanie kursu za pomocą reprezentacji świecowej kursu jest zatem mało precyzyjne i niejednoznaczne.

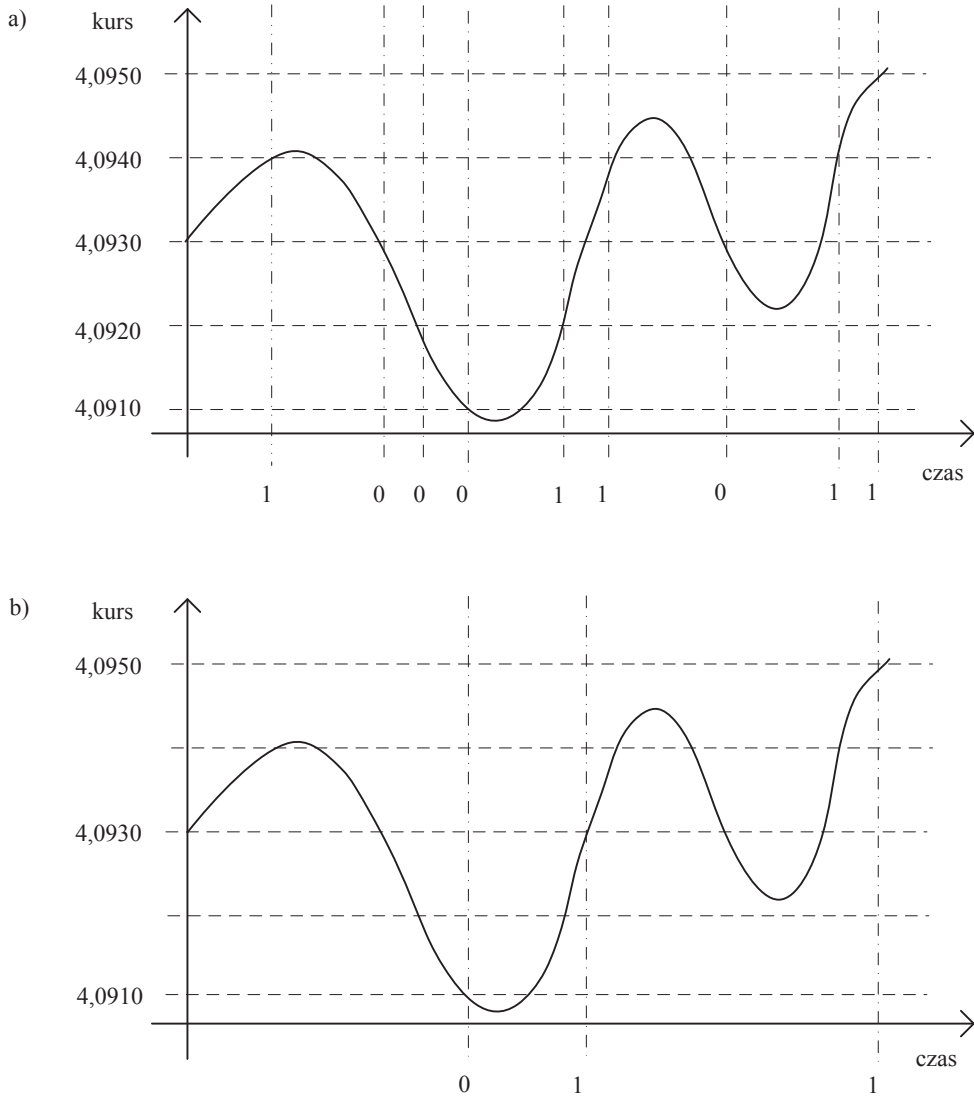
Idea binaryzacji kursu była po raz pierwszy wykorzystywana do konstrukcji i analizy wykresów metodą symboliczno-punktową [De Villiers 1933]. Podstawą reprezentacji binarnej jest dyskretyzacja kursu walutowego względem zadanej jednostki dyskretyzacji. Reprezentacja binarna jest opisana za pomocą ciągu. Na rysunku 1 przedstawiono przykład działania algorytmu binaryzacji kursu. Algorytm ten przypisuje kolejnemu wyrazowi ciągu wartość ‘0’, gdy kurs spada o jednostkę dyskretyzacji, lub wartość ‘1’ w przypadku wzrostu kursu o jednostkę dyskretyzacji. W następnych krokach algorytm wyznacza kolejne wartości binarne opisujące zmiany względem aktualnego kursu.

W przypadku wystąpienia luk cenowych algorytm sprawdza, jaka wartość została osiągnięta, oraz dalej analizuje kurs względem pierwszej ceny po luce cenowej. W efekcie działania algorytmu binaryzacji proces zmian kursu pary walutowej zostaje przedstawiony w postaci ciągu wartości binarnych, gdzie oznacza liczbę zarejestrowanych zmian.

Rozważmy badanie charakteru zmian kursu o jednostkowym zwrocie równym np. 20 pips. W przypadku zastosowania nawet najmniejszego, 1-minutowego interwału rejestrowane będą tysiące zmian o mniejszym jednostkowym zwrocie niewnoszących niczego istotnego do analizy notowań. Natomiast w okresach wzmożonego handlu jedna minutowa świeca może reprezentować nawet kilka zmian kursu o jednostkowym zwrocie równym 20 pips. Wykorzystanie danych w takiej formie prowadzi zatem do straty ważnych informacji o zmianach „wewnątrz” świecy oraz analizy dużej liczby mało istotnych danych, co w konsekwencji może prowadzić do niewiarygodnych rezultatów analizy statystycznej. W przypadku zastosowania reprezentacji binarnej każda istotna zmiana zostanie zarejestrowana, a pomniejsze zmiany o charakterze szumu nie będą rejestrowane. Jeżeli na podstawie tak skonstruowanej reprezentacji stwierdzi się istnienie zależności pomiędzy zmianami, to konstruowanie modeli predykcyjnych jest uzasadnione.

2.2. Wpływ wartości jednostki dyskretyzacji na charakter reprezentacji

Charakter zmian notowań zależy od przyjętej wielkości jednostki dyskretyzacji. Przyjęcie zbyt małej wartości może powodować rejestrację szumu, natomiast przyjęcie zbyt dużej może powodować całkowitą utratę wartości informacyjnej. Przyjęcie pośredniej wartości jednostki dyskretyzacji może się okazać optymalne i prowadzić do najlepszych rezultatów, ponieważ dyskretyzacja kursu działa wtedy na zasadzie filtru usuwającego zmiany o charakterze szumu.



Rys. 2. Reprezentacja binarna dla: a) JD = 10 pips, b) JD = 20 pips

Źródło: opracowanie własne.

Na rys. 2 przedstawiono poglądowy przykład konstrukcji reprezentacji binarnej w zależności od wielkości jednostki dyskretyzacji. Rysunek pokazuje, że w przypadku większej wartości jednostki dyskretyzacji mniejsze zmiany przestają być rejestrowane. Z tego powodu w dalszej części artykułu przedstawiono schemat badań przewidywalności zmian kursu walutowego reprezentacji reprezentowanego binar-

nie w zależności od różnych wartości jednostki dyskretyzacji. Jedynie reprezentacje binarne posiadające tę właściwość mogą być stosowane przy wspomaganiu decyzji spekulacyjnych podejmowanych na rynkach walutowych. Celem podjętych badań jest wskazanie takich wartości jednostek dyskretyzacji, dla których zarejestrowane ciągi zmian kursu będą przewidywalne.

3. Statystyczna weryfikacja zależności pomiędzy kierunkami kolejnych zmian

Dla każdej reprezentacji binarnej przeprowadzono trzy testy statystyczne. Wybrane testy to: test częstości [Chung 1979; Pitman 1993], test serii [Gibbons 1985; Godbole, Papastavridis (red.) 1994] oraz test najdłuższych serii w bloku [David, Barton 1962]. Za pomocą każdego z tych testów weryfikowano hipotezę zerową:

H_0 : *Obserwowana reprezentacja binarna stanowi ciąg wartości nieprzewidywalnych,*

której przeciwstawiono hipotezę alternatywną:

H_1 : *Obserwowana reprezentacja binarna stanowi ciąg wartości przewidywalnych.*

Procedury obliczeniowe wyznaczania statystyk testowych przedstawiono w załączniku. Weryfikację hipotezy zerowej prowadzono dla ustalonego poziomu istotności $\alpha = 5$. Jeśli przynajmniej za pomocą jednego z zastosowanych testów odrzucono hipotezę zerową, to wtedy orzekano, że reprezentacja binarna stanowi ciąg wartości przewidywalnych i może stanowić przesłankę do predykcji przyszłych zmian kursu.

4. Badanie przewidywalności kursów złotego do głównych walut

W celu przeprowadzenia odpowiednich badań napisano dedykowane oprogramowanie w języku C++ oraz Mql4. Do badań wykorzystano dane tikowe notowań pary USD/PLN oraz pary EUR/PLN pochodzące od brokera Ducascopy. Badaniom poddano notowania z pięcioletniego okresu 01.01.2013-31.12.2017 r. Dobór tego okresu wynika ze zmian, jakie w ostatnich latach zaszły na rynkach walutowych. Dzięki rozwojowi narzędzi teleinformatycznych (np. platform MetaTrader, JForex itd.) umożliwiających zawieranie zleceń w czasie niemal rzeczywistym, wsparcie automatyzacji handlu itd. Duży wpływ miało także obniżenie spreadów oraz minimalnych wkładów w ostatnich latach. Obniżenie spreadów pozwala na zawieranie transakcji o mniejszym jednostkowym zwrocie, natomiast znaczne obniżenie poziomu minimalnych depozytów otworzyło rynek dla szerszego grona inwestorów. Zmiany te wpłynęły na charakter notowań. W tym kontekście analiza starszych danych mogłaby nawet zaburzyć proces wykrywania rejestrowanych dzisiaj prawidłowości w zachowaniu inwestorów.

Badania przeprowadzono dla par walutowych EUR/PLN i USD/PLN. Uzyskane wyniki zestawiono w tablicach 1 i 2 dostępnych w Internecie [Piasecki, Stasiak 2018b, 2018c].

W rezultacie badań dla kursu EUR/PLN (dla wszystkich jednostek dyskretyzacji z przedziału od 1 do 372 pips) oraz dla kursu USD/PLN (dla wszystkich jednostek dyskretyzacji z przedziału od 1 do 178 pips) odrzucono hipotezę zakładającą nieprzewidywalny charakter zmian kursu. Taki rezultat wskazuje na istnienie zależności pomiędzy danymi historycznymi i aktualnym kierunkiem zmian. Otrzymane wyniki uzasadniają więc możliwość wykorzystania metod analizy technicznej odnoszącej się do modeli predykcyjnych dedykowanych reprezentacji binarnej [Stasiak 2016, 2017] dla jednostek dyskretyzacji w tym przedziale. Można też stwierdzić, że przy zastosowaniu większych jednostek dyskretyzacji utrata wartości informacyjnej reprezentacji binarnej jest na tyle duża, że uniemożliwia trafne przewidywanie kierunku przyszłych zmian kursu. Oznacza to, że dla transakcji, w których poziomy SL i TP są oddalone o większą wartość niż 372 pips dla pary EUR/PLN oraz 178 pips dla pary USD/PL, nie można oszacować prawdopodobieństwa osiągnięcia zysku.

Przedstawione rezultaty pokazują, że wartość jednostki dyskretyzacji, powyżej której kurs w reprezentacji binarnej staje się nieprzewidywalny, jest różny dla każdej pary walutowej. Fakt ten może wynikać z różnych wartości oferowanych spreadów oraz częstości rejestrowanych zmian.

Przedstawiona analiza wykazała również brak istotnego wpływu szumu na otrzymane rezultaty badań. Już nawet w przypadku przyjęcia najmniejszej jednostki dyskretyzacji, równej 1 pips, rezultaty testowania wskazują na istnienie potencjalnych zależności pomiędzy poprzedzającymi i następującymi zmianami. Można zatem stwierdzić, że szum na rynku złotego nie powoduje utraty wartości predykcyjnej w takim stopniu, który wykluczałby skuteczną analizę i wymagał odpowiedniej filtracji (poprzez zwiększenie wartości jednostki dyskretyzacji).

5. Zakończenie

W artykule zaproponowano nowy schemat weryfikacji hipotezy o istnieniu zależności pomiędzy historią notowań a kierunkiem przyszłych zmian. W przyjętym schemacie badań wykorzystano testowanie statystyczne oraz reprezentację binarną kursu, która eliminuje utratę wartości informacyjnej (która może powodować zafałszowanie rezultatów badań) powstającą w przypadku stosowania reprezentacji świecowej. Pozytywna weryfikacja, potwierdzająca możliwość istnienia odpowiednich zależności, jest uzasadnieniem dla dalszych badań dotyczących budowy modeli predykcyjnych korzystających z reprezentacji binarnej.

W artykule zaprezentowano wyniki analizy kursu złotego wobec głównych światowych walut. W obu przypadkach stwierdzono, że reprezentacja binarna kursu stanowi ciąg losowy wartości zależnych. Dodatkowo określono, dla jakich wartości

jednostek dyskretyzacji otrzymana reprezentacja binarna zachowuje wartość predykcyjną, niezbędną do budowy odpowiednich modeli.

Zaprezentowany schemat weryfikacji może być wykorzystany do analizy notowań dowolnej pary walutowej lub innego instrumentu finansowego. Pozytywna weryfikacja uzasadnia konstrukcję modeli predykcyjnych wspierających zarządzanie transakcjami.

Załącznik

Niech ciąg wartości losowych $\{\varepsilon_i\}_{i=1}^n$ opisuje obserwowaną reprezentację binarną określonej pary walutowej. Funkcja $erf(\cdot)$ określona jest za pomocą tożsamości

$$erf(x) = \frac{2}{\pi} \int_{-\infty}^x e^{-t^2} dt. \quad (A1)$$

Test częstości [Chung 1979; Pitman 1993]

Statystyka tego testu jest określona za pomocą zależności:

$$S_{obs} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n \varepsilon_i - n}{\sqrt{n}}. \quad (A2)$$

Jeśli jest spełniany warunek:

$$p_{value} = 2 \cdot (1 - erf(|S_{obs}|)) < \alpha, \quad (A3)$$

to twierdzymy, że istnieje podstawa do odrzucenia hipotezy zerowej H_0 na rzecz hipotezy alternatywnej H_1 .

Test serii [Gibbons 1985; Godbole i Papastavridis 1994]

$$V_{obs} = 1 + \sum_{i=1}^{n-1} |\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i|. \quad (A4)$$

Statystyka tego testu jest określona za pomocą zależności:

$$Z_{obs} = \frac{V_{obs} - E(V_{obs})}{\sqrt{D(V_{obs})}}, \quad (A5)$$

gdzie:

$$V_{obs} = 1 + \sum_{i=1}^{n-1} |\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i|, \quad (A6)$$

$$E(V_{obs}) = 2 \cdot \frac{n_1 \cdot (n - n_1)}{n} + 1, \quad (A7)$$

$$D(V_{obs}) = 2 \cdot \frac{(n_1 \cdot (n - n_1)(2 \cdot n_1 \cdot (n - n_1) - n))}{(n - 1) \cdot n^2}, \quad (A8)$$

$$n_1 = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i. \quad (A9)$$

Jeśli jest spełniany warunek:

$$p_{value} = 2 \cdot (1 - erf(|Z_{obs}|)) < \alpha, \quad (A10)$$

to twierdzimy, że istnieje podstawa do odrzucenia hipotezy zerowej H_0 na rzecz hipotezy alternatywnej H_1 .

Test najdłuższych serii w bloku [David, Barton 1962]

Przez pojęcie serii rozumiemy dowolny, maksymalnie długi podciąg kolejnych „1”. W celu przeprowadzenia testu najdłuższych serii reprezentację binarną $\{\varepsilon_i\}_{i=1}^n$ dzielimy na N podciągów zawierających po M kolejnych wyrazów ciągu $\{\varepsilon_i\}_{i=1}^n$. Każdy uzyskany w ten sposób podciąg reprezentacji jest nazywany blokiem. Następnie wyznaczane są prawdopodobieństwa π_m^* zdarzeń \prod_m^* definiowanych w taki sposób, że długość najdłuższej serii w bloku M wyrazowym jest równa $m = 0, 1, 2, \dots, M$. Prawdopodobieństwa π_m^* określa się na podstawie wzorów:

$$\pi_m^* = \begin{cases} q_0 & m = 0 \\ q_m - q_{m-1} & m > 0 \end{cases}, \quad (A11)$$

$$q_m = \frac{1}{2^M} \sum_{r=0}^M \sum_{j=0}^{U(r)} (-1)^j \cdot \binom{M-r+1}{j} \cdot \binom{M-j \cdot (m+1)}{M-r}, \quad (A12)$$

$$U(r) = \min \left\{ M - r + 1, \text{entier} \left(\frac{r}{m+1} \right) \right\}. \quad (A13)$$

Następnie wyznaczane są takie minimalne wartości parametrów k, l , że spełnione są następujące warunki:

$$\sum_{t=0}^k \pi_t^* \cdot N > 5, \quad (A14)$$

$$\sum_{t=M-l}^M \pi_t^* \cdot N > 5. \quad (A15)$$

W kolejnym kroku wyznacza się ciąg zdarzeń $\{\Pi_s\}_{s=k}^l$ określonych na podstawie zależności [Revesz 1990]:

$$\Pi_s = \begin{cases} \prod_{t=0}^k \Pi_t^* & s = k \\ \Pi_s^* & k < s < M - l \\ \prod_{t=M-l}^M \Pi_t^* & s = M - l \end{cases} \quad (\text{A16})$$

Prawdopodobieństwo π_s zajścia zdarzenia wyznacza się następująco:

$$\pi_s = \begin{cases} \sum_{t=0}^k \pi_t^* & s = k \\ \pi_s^* & k < s < M - l \\ \sum_{t=M-l}^M \pi_t^* & s = M - l \end{cases} \quad (\text{A17})$$

W ostatnim kroku dla każdego zdarzenia Π_s $s = k, k + 1, \dots, M - l$ określa się liczbę bloków v_s odpowiadających rozważanemu zdarzeniu. Statystyka testu najdłuższych serii w bloku jest określona w następujący sposób:

$$V_{obs} = \sum_{s=k}^{M-l} \frac{(v_s - N\pi_s)^2}{N\pi_s}. \quad (\text{A18})$$

Jeśli jest spełniony warunek:

$$p_{value} = 1 - \chi^2(V_{obs}, M - k - l + 1) < \alpha, \quad (\text{A19})$$

gdzie:

$$\chi^2(x, N) = \frac{\int_0^x t^{N/2-1} e^{-t} dt}{2^{N/2-1} \cdot \int_0^\infty t^{N/2-1} e^{-t} dt}, \quad (\text{A20})$$

to można twierdzić, że istnieje podstawa do odrzucenia hipotezy zerowej na rzecz hipotezy alternatywnej.

Literatura

- Bachelier L., 1900, *Théorie de la Spéculation*, Annales scientifiques de l'É.N.S. 3e série, t. 17, s. 21-86.
 Burgess G., 2010, *Trading and Investing in the Forex Markets Using Chart Techniques*, vol. 543, John Wiley & Sons, <https://doi.org/10.1002/9781119206552>

- Cheung Y.W., Chinn M.D., 1999, *Macroeconomic implications of the beliefs and behavior of foreign exchange traders*, no. w7417, National Bureau of Economic Research.
- Chung K.L., 1979, *Elementary Probability Theory with Stochastic Processes*, Springer.
- David F.N., Barton D.E., 1962, *Combinatorial Chance*, Hafner Publishing Co., New York, s. 230.
- De Villiers V., 1933, *The Point and Figure Method of Anticipating Stock Price Movements: Complete Theory and Practice*, Stock Market Publications.
- Fama E.F., 1970, *Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work*, The Journal of Finance, no. 43, s. 383-417. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1970.tb00518.x>
- Frost A.J., Prechter R.R., 2005, *Elliott wave principle: key to market behavior*, Elliott Wave International.
- García B.Q., Gaytán J.C.T., Wolfskill L.A., 2012, *The Role of Technical Analysis in the Foreign Exchange Market*, Global Journal of Business Research, 6(3), s. 17-22.
- Gibbons J.D., 1985, *Nonparametric Statistical Inference*, 2nd ed., Marcel Dekker, New York, s. 50-58.
- Godbole P., Papastavridis G. (red.), 1994, *Runs and patterns in probability*, Selected papers, Kluwer.
- Lee K.H., Jo G.S., 1999, *Expert system for predicting stock market timing using a candlestick chart*, Expert Systems with Applications, 16(4), s. 357-364.
- Li W., Wong M.C., Cenev J., 2015, *High frequency analysis of macro news releases on the foreign exchange market: A survey of literature*, Big Data Research, 2(1), s. 33-48.
- Logue D.E., Sweeney R.J., 1977, *White noise in imperfect markets: the case of the franc/dollar exchangerates*, The Journal of Finance, 32(3), s.761-768. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1977.tb01986.x>.
- Menezes A., Van Oorschot P., Vanstone S., 1996, *Handbook of Applied Cryptography*, CRC Press.
- Murphy J., 1986, *Technical analysis of the futures markets: A comprehensive guide to trading methods and applications*, Prentice Hall Press.
- Neely C.J., Weller, P.A., 2011, *Technical analysis in the foreign exchange market*, Federal Reserve Bank of St. Louis Working Paper No, <https://doi.org/10.1002/9781118445785.ch12>.
- Piasecki K., Stasiak M.D., 2018a, *The currency trading system with constant magnitude of unitary return*, [w:] Szkutnik W. i in., *10th International Scientific Conference "Analysis of International Relations 2018. Methods and Models of Regional Development. Summer Edition". Conference Proceedings*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice, s. 40-48.
- Piasecki K., Stasiak M.D., 2018b, *Badanie przewidywalności zmian kursu złotego wobec EUR i USD*. Wyniki testów statystycznych dla pary walutowej EUR/PLN, <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32940.77446>.
- Piasecki K., Stasiak M.D., 2018c, *Badanie przewidywalności zmian kursu złotego wobec EUR i USD*. Wyniki testów statystycznych dla pary walutowej EUR/PLN, <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21616.15365>.
- Pitman J., 1993, *Probability*, Springer-Verlag, New York, s. 93-108.
- Revesz P., 1990, *Random Walk in Random and Non-Random Environments*, World Scientific, Singapore.
- Schlossberg B., 2006, *Technical Analysis of the Currency Market*, John Wiley & Sons.
- Stasiak M.D., 2016, *Modelling of currency exchange rates using a binary representation*, Proceedings of 37th International Conference on Information Systems Architecture and Technology – ISAT 2016, Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-319-46592-0_13.
- Stasiak M.D., 2017, *Modelling of Currency Exchange Rates Using a Binary-Wave Representation*, Proceedings of International Conference on Information Systems Architecture and Technology, Springer, s. 27-37, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-67223-6>.
- Yazdi S.H.M., Lashkari Z.H., 2013, *Technical Analysis of Forex by MACD Indicator*, International Journal of Humanities and Management Sciences (IJHMS), t. 1, no. 2, s. 159-165.