

Alina MOMOT
Politechnika Śląska, Instytut Informatyki
Michał MOMOT
Instytut Techniki i Aparatury Medycznej ITAM

PROJEKTOWANIE STRATEGII INWESTYCYJNYCH NA RYNKACH TERMINOWYCH Z ZASTOSOWANIEM SYMULACJI KOMPUTEROWYCH I METOD MONTE CARLO

Streszczenie. Projektowanie i testowanie strategii inwestycyjnych jest znacznie ułatwione dzięki zastosowaniu symulacji komputerowych. Metoda Monte Carlo jest często stosowana do modelowania matematycznego procesów zachodzących na rynkach kapitałowych. Artykuł przedstawia przykład złożonej strategii inwestycyjnej bazującej na równoczesnym stosowaniu wielu strategii elementarnych oraz jej alternatywę wykorzystującą losowe przełączanie pomiędzy poszczególnymi strategiami elementarnymi.

Słowa kluczowe: rynek terminowy, strategia inwestycyjna, metody Monte Carlo

DESIGN OF INVESTMENT STRATEGIES ON FUTURES MARKETS USING COMPUTER SIMULATION AND MONTE CARLO METHODS

Summary. Design and testing of investment strategies is greatly facilitated by using computer simulations. Monte Carlo method is often used for mathematical modeling of processes occurring in the financial markets. This article presents a complex investment strategy based on the simultaneous use of several basic strategies and its alternative using random switching between these different basic strategies.

Keywords: futures market, investment strategy, Monte Carlo method

1. Wprowadzenie

Nowoczesne technologie informatyczne zrewolucjonizowały metody tworzenia i testowania strategii inwestycyjnych. Dzięki przechowywaniu ogromnej liczby informacji o noto-

waniach instrumentów finansowych w precyzyjnie ustalonych formatach danych możliwe jest zautomatyzowanie procesu ich przetwarzania przez komputerowe programy wspomagające procesy podejmowania decyzji o skutkach finansowych [4, 6].

Projektowanie strategii inwestycyjnej wymaga precyzyjnego określenia zbioru reguł postępowania, których stosowanie prowadzi do wielu działań, z którymi wiążą się określone zyski i koszty. Przy tworzeniu takiej strategii konieczna jest wnikliwa ocena różnych alternatywnych rozwiązań i rozważenie związanych z nimi korzyści i nakładów [2].

Istotnym elementem zbioru reguł tworzących strategię inwestycyjną są zasady określające wielkość środków finansowych angażowanych w poszczególne operacje. Oprócz reguł określających na przykład kursy, po których mają być wykonywane konkretne operacje, oraz chwil ich realizacji, konieczne jest również określenie reguł determinujących wysokość kapitału zaangażowanego w tych operacjach. Stanowi to jeden z czynników decydujących o ryzyku finansowym związanym z zastosowaniem danej strategii, bowiem nawet operacje wykonywane we właściwych momentach i przy korzystnych kursach mogą narazić inwestora na duże straty w przyszłości. Zagadnienia związane z problemem wielkości angażowanych środków finansowych noszą nazwę zarządzania kapitałem (ang. *money management*) [1, 9]. Warto przy tym zauważyć, że reguły zarządzania kapitałem mogą być określane w oddzielnym etapie tworzenia strategii inwestycyjnej, jako integralny zbiór zasad, jednak w ścisłym powiązaniu z pozostałą częścią strategii.

Wykorzystując istniejące dane historyczne można przeprowadzić symulowanie działania poszczególnych strategii inwestycyjnych i ocenić ich skuteczność [8, 10]. Ocena taka może być wyrażana w sposób ilościowy przy użyciu liczbowych wskaźników jakości w postaci na przykład łącznego zysku wynikającego z zastosowania danej strategii w badanym okresie historycznym [3]. Symulacje takie pozwalają na porównywanie różnych strategii bez narażania się na potencjalne straty finansowe. Dzięki temu możliwy jest wybór optymalnej strategii (np. poprzez dobór określających ją parametrów), należy jednak przy tym pamiętać, że tak wybrana strategia jest oczywiście optymalna tylko dla rozważanego okresu w przeszłości, a w przyszłości niekoniecznie musi okazać się najlepszą.

W artykule opisana jest propozycja prostej strategii inwestycyjnej przeznaczonej do zastosowania na rynku kontraktów terminowych [11]. Strategia ta zakłada, że inwestor stale zajmuje naprzemiennie długą lub krótką pozycję na rynku, a zmiana pozycji na przeciwną dokonywana jest w wyniku realizacji zlecenia z limitem aktywacji. Prócz tego strategia ta wymaga określenia pewnego parametru liczbowego. Proponuje się rozważenie modelu złożonej strategii inwestycyjnej bazującej na równoczesnym stosowaniu wielu strategii elementarnych, z których każda jest charakteryzowana inną wartością tego parametru. Alternatywnie rozważana jest inna strategia polegająca na losowym przełączaniu się pomiędzy poszczególnymi, takimi samymi co poprzednio, strategiami elementarnymi. Ze względu na losowy cha-

rakter reguł definiujących strategię alternatywną, przy symulacji jej działania zastosowano metodę Monte Carlo [7]. Empiryczne porównanie obu rozpatrywanych strategii było dokonywane poprzez realizację eksperymentów numerycznych, w których jako dane wykorzystano kursy kontraktu terminowego na indeks WIG20 notowane na Warszawskiej Giełdzie Papierów Wartościowych (WGPW).

2. Opis strategii inwestycyjnej

W tej sekcji zostanie przedstawiona prosta strategia inwestycyjna przeznaczona do zastosowania na rynku kontraktów terminowych wymagająca określenia pewnego parametru liczbowego. Opisane również zostaną jej modyfikacje polegające na uśrednieniu rezultatów zastosowania wielu strategii tego typu równocześnie (każdej z inną wartością tego parametru) oraz strategia polegająca na losowym przełączaniu się pomiędzy poszczególnymi strategiami elementarnymi. W opisie tych wszystkich strategii używane będą pewne pojęcia zdefiniowane poniżej.

2.1. Podstawowe pojęcia

Kontrakt terminowy (ang. *futures*) jest instrumentem finansowym, będącym rodzajem umowy zawartej pomiędzy kupującym (sprzedającym) a giełdą lub izbą rozliczeniową, w której sprzedający zobowiązuje się sprzedać określony instrument bazowy za ściśle ustaloną cenę (ang. *futures price*) w ściśle wyznaczonym terminie (ang. *delivery date*). Większość kontraktów jest rozliczana gotówkowo – zaledwie kilka procent kontraktów jest rozliczane w drodze dostawy aktywów bazowych. W specyficznych przypadkach dostarczenie aktywów bazowych jest nawet niemożliwe, na przykład gdy przedmiotem kontraktu jest indeks giełdowy.

Kupno kontraktu oznacza zajęcie pozycji długiej (ang. *long*), zaś jego sprzedaż określa się jako zajęcie pozycji krótkiej (ang. *short*). Przy tym ważne jest, że sprzedaż kontraktu nie wymaga jego wcześniejszego posiadania. Posiadacze długich pozycji osiągają zyski w czasie wzrostów kursów, natomiast posiadacze krótkich pozycji osiągają zyski przy spadkach kursów. Każda pozycja, długa lub krótka, może być utrzymywana aż do wygaśnięcia kontraktu, a nawet przeniesiona na kolejny kontrakt terminowy o późniejszym terminie wygaśnięcia, co określa się jako „rolowanie pozycji”. Zajętą pozycję można jednak zamknąć wcześniej i w uzasadnionych przypadkach (w zależności od przyjętej strategii) od razu otworzyć pozycję przeciwną.

Strategie opisywane w dalszej części artykułu zakładają, że inwestor stale zajmuje naprzemiennie długą lub krótką pozycję na rynku, a zmiana pozycji na przeciwną dokonywana jest w wyniku realizacji zlecenia z limitem aktywacji. Oznacza to, że pozycja krótka ma być odwrócona na długą, gdy kurs kontraktu terminowego wzrośnie przekraczając pewien ustalony wcześniej dla tej pozycji poziom aktywacji. Analogicznie w przeciwnym przypadku ustalony zostaje poziom aktywacji dla długiej pozycji, przy którym będzie ona odwracana na krótką (przy spadku kursu poniżej tego poziomu aktywacji). Limit aktywacji zlecenia odwracającego pozycję L_p jest ustalany w zależności od kierunku odwrócenia jako $L_p = K_o + p$ lub $L_p = K_o - p$ odpowiednio dla zmiany z pozycji krótkiej na długą lub długiej na krótką, gdzie K_o jest kursem otwarcia w danym przedziale czasowym, w rozpatrywanych dalej przykładach będzie to dzienny kurs otwarcia.

Jako wskaźnik służący do oceny skuteczności opisanych strategii rozpatrywany będzie łączny skumulowany zysk wynikający z zastosowania ustalonej strategii. Wyznaczane będzie również maksymalne obsunięcie kapitału, zdefiniowane jako największa różnica między maksymalnym skumulowanym zyskiem inwestora do pewnej chwili, a późniejszą mniejszą od niego wartością tego zysku [5]:

$$MDD = \max_{t \in [0, T]} \left(\max_{s \in [0, t]} (X(s) - X(t)) \right), \quad (1)$$

gdzie $X(t)$ jest wartością skumulowanego zysku inwestora w chwili t , zaś T oznacza czas stosowania strategii wyrażony w ustalonych jednostkach (w rozpatrywanych przykładach będą to dni, w których odbywały się sesje giełdowe). Innymi słowy wskaźnik ten informuje, jak dużą część zgromadzonych wcześniej zysków inwestor musiał oddać w wyniku występujących później strat, czyli stanowi bardzo użyteczną miarę ryzyka związanego ze stosowaną strategią.

2.2. Strategia elementarna

Rozpatrywana elementarna strategia inwestycyjna przeznaczona do zastosowania na rynku kontraktów terminowych zakłada, że inwestor stale zajmuje naprzemiennie długą lub krótką pozycję na rynku. Początkowa pozycja jest ustalona jako długa. Parametrem określającym tę strategię jest limit aktywacji zlecenia odwracającego pozycję L_p , a dokładniej, dodatniego parametru p wraz ze zmieniającym się codziennie parametrem K_o - kursem otwarcia.

Warto przy tym zauważyć, że przy odpowiednio dużej wartości parametru p (przewyższającej maksymalne dobowe wahania kursu) początkowa pozycja długa może nie być nigdy odwrócona - otrzymuje się wtedy tak zwaną strategię „kup i trzymaj” (ang. *buy-and-hold*).

Ponadto przy zbyt małej wartości parametru p nie ma sensu stosowanie takiej strategii, gdyż limit aktywacji będzie zbyt bliski kursu otwarcia i nawet minimalne losowe wahania kursu będą powodowały odwracanie pozycji.

2.3. Strategia uśredniająca

Ze względu na nieznaną skuteczność stosowania opisanej uprzednio strategii elementarnej dla ustalonego parametru p proponuje się rozważenie modelu złożonej strategii inwestycyjnej bazującej na równoczesnym stosowaniu wielu strategii elementarnych, z których każda jest charakteryzowana inną wartością tego parametru.

Jak już wspomniano, warto zauważyć, że stosowanie zbyt małych wartości tego parametru nie ma sensu, a także dla wartości p przekraczających pewną liczbę wszystkie strategie sprowadzą się do jednej - „kup i trzymaj”. Po uwzględnieniu tych uwag, zostanie określony zbiór rozpatrywanych wartości parametru $p \in \{p_{\min}, p_{\min} + h, \dots, p_{\min} + (n-1)h\}$, gdzie p_{\min} jest minimalną wartością tego parametru, h jest odstępem między jego kolejnymi wartościami, a n jest liczbą stosowanych strategii elementarnych.

Strategia inwestycyjna polegająca na równoczesnym stosowaniu wielu strategii elementarnych dla określonych wcześniej różnych wartości parametru p przynosi uśredniony zysk w postaci

$$Z = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} z(p_{\min} + ih), \quad (2)$$

gdzie $z(p_{\min} + ih)$ jest zyskiem otrzymanym w wyniku zastosowania strategii elementarnej, zaś maksymalne obsunięcie kapitału dla takiej strategii złożonej jest na ogół mniejsze od średniej arytmetycznej maksymalnych obsunięć strategii elementarnych:

$$MDD \leq \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} MDD(p_{\min} + ih). \quad (3)$$

Stanowi to sposób na obniżenie ryzyka poprzez redukcję wpływu potencjalnie „złych” strategii na efekt końcowy.

Praktyczna realizacja takiej strategii polega na podziale kapitału inwestora na n równych części i przeznaczeniu każdej z nich na realizację pojedynczej strategii elementarnej. W związku z tym strategia ta ma podstawową wadę polegającą na tym, że inwestor ją stosujący musi dysponować znacznym kapitałem - około n -krotnie przewyższającym kapitał wymagany do zastosowania pojedynczej strategii elementarnej.

2.4. Strategia zrandomizowana

Podstawowa wada strategii uśredniającej stanowi motywację do rozważenia strategii alternatywnej polegającej na codziennym losowym przełączaniu się pomiędzy poszczególnymi, takimi samymi co poprzednio, strategiami elementarnymi. Dzięki temu kapitał wymagany do jej stosowania nie musi być wyższy niż dla przypadku realizacji pojedynczej strategii elementarnej.

Zarazem ze względu na częściowy, chwilowy wpływ każdej ze strategii alternatywnych na efekt działania strategii z losowymi przełączeniami oczekuje się, że zysk osiągnany dzięki jej stosowaniu będzie zbliżony do zysku strategii uśredniającej, a również ryzyko wyrażane poprzez maksymalne obsunięcie kapitału zostanie zredukowane. Jednak losowy charakter reguł definiujących tę strategię sprawia, że na efekt jej zastosowania będzie mieć wpływ, oprócz przypadkowych zmian kursów kontraktu, również wynik codziennego losowania wartości parametru p przy zmianie danej strategii elementarnej na inną.

Warto rozważyć również nieco zmodyfikowaną wersję opisanej wyżej strategii zrandomizowanej, polegającą na wprowadzeniu dodatkowej reguły przy przełączaniu się pomiędzy poszczególnymi strategiami elementarnymi. Po losowym wyznaczeniu nowej wartości parametru p porównuje się skumulowany zysk osiągnięty dla strategii elementarnej charakteryzowanej przez tę wartość z analogicznym zyskiem dla aktualnie stosowanej strategii elementarnej. Jeśli osiągnany do chwili przełączenia skumulowany zysk dla nowej wartości p jest mniejszy niż analogiczny zysk dla aktualnej wartości, to nie następuje zmiana strategii elementarnej.

3. Eksperymenty numeryczne

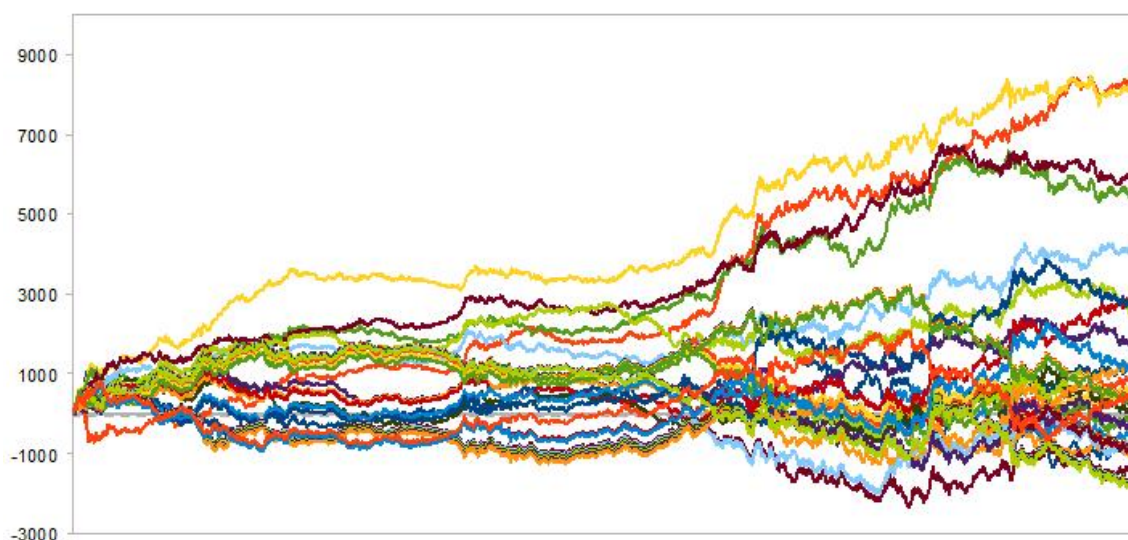
Do przeprowadzenia eksperymentów numerycznych badających skuteczność zaprezentowanych wcześniej strategii inwestycyjnych wykorzystano notowania kontraktu terminowego na indeks WIG20. Zarówno indeks, jak i kontrakt terminowy są notowane na Warszawskiej Giełdzie Papierów Wartościowych (WGPW). Dane te są udostępnione przez WGPW, jak również inne instytucje, na przykład domy maklerskie. Ogólnodostępne są dane dzienne (bardziej szczegółowe udostępniane są na ogół odpłatnie) w formacie OHLC (ang. *Open-High-Low-Close*) - kurs na początku zadanego interwału (otwarcie), maksymalny oraz minimalny kurs w całym interwale, kurs na końcu zadanego interwału (zamknięcie). Dodatkowo podawane są zazwyczaj jeszcze dwie wartości - wolumen obrotu (łącznie liczba zrealizowanych operacji otwarcia i zamknięcia pozycji w danym interwale) oraz ogólna liczba otwartych pozycji na koniec interwału.

Do badań zostały użyte notowania dzienne kontraktu FW20 (kontraktu terminowego na indeks WIG20) w okresie od 20 grudnia 1999 roku do 31 grudnia 2009 roku. Data początkowa jest związana z datą rozpoczęcia notowań tego kontraktu na WGPW.

Dla każdej strategii elementarnej przyjmuje się, że zyski (lub straty) wyrażone są w takich samych jednostkach, w jakich wyrażony jest kurs kontraktu terminowego. W przypadku kontraktu FW20 jednostce tej odpowiada kwota 10 PLN, stanowiącą jeden punkt nominalnej wartości kontraktu. Wyznaczając zyski lub straty trzeba wziąć pod uwagę, że z każdą operacją otwarcia (lub zamknięcia) pozycji jest związana prowizja, której wartość na potrzeby niniejszych eksperymentów przyjęto jako 1 punkt, czyli 10 PLN. Tak więc każde odwrócenie pozycji wiąże się z kosztem 2 punktów.

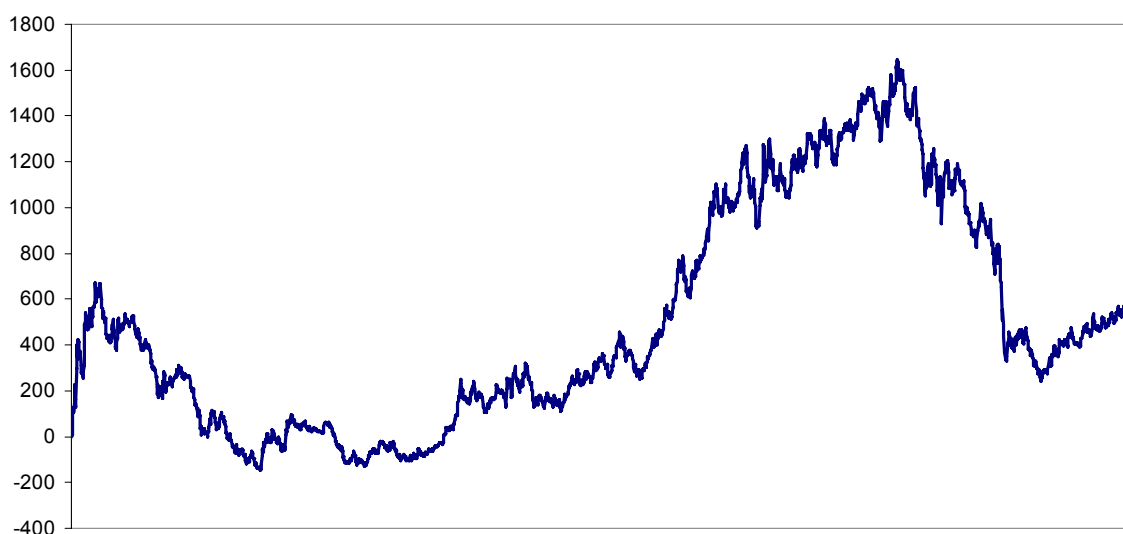
Jako zbiór wartości parametru p definiującego limit aktywacji zlecenia odwracającego pozycję ($L_p = K_o + p$ lub $L_p = K_o - p$ odpowiednio dla zmiany z pozycji krótkiej na długą lub długiej na krótką, gdzie K_o jest dziennym kursem otwarcia) przyjęto zbiór opisany wyżej jako $\{p_{\min}, p_{\min} + h, \dots, p_{\min} + (n-1)h\}$.

W eksperymencie przyjęto następujące wartości $p_{\min} = 5$, $h = 10$, a liczbę elementarnych strategii n ustalono jako 50. Rysunek 1 przedstawia efekty realizacji poszczególnych strategii w postaci wykresów dziennego skumulowanego zysku w badanym okresie 2516 dni.



Rys. 1. Efekty realizacji 50 strategii elementarnych
Fig. 1. Results of 50 elementary strategies

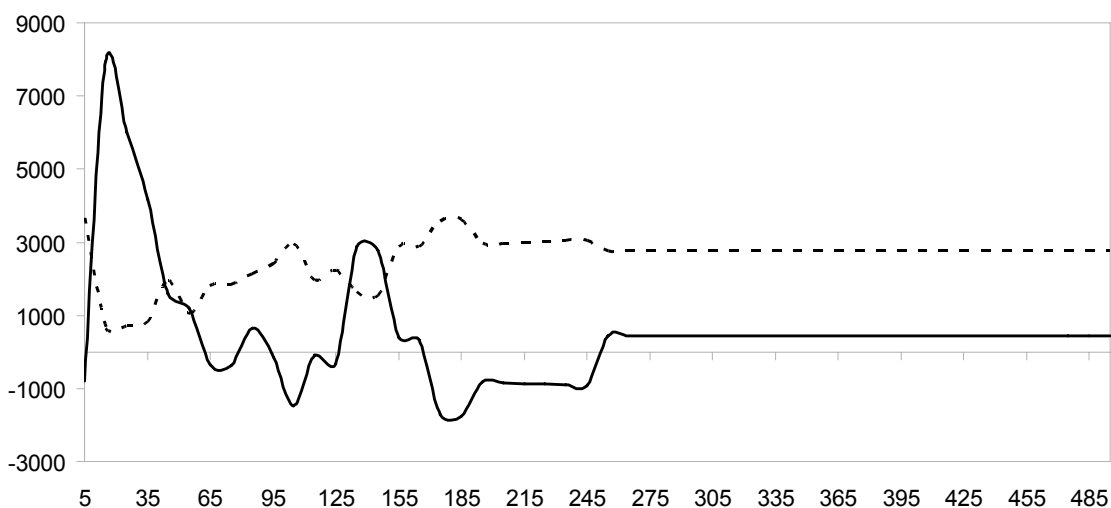
Rysunek 2 obrazuje efekty realizacji strategii uśredniającej również w postaci wykresu dziennego skumulowanego zysku w badanym okresie. Warto zwrócić tu uwagę na skalę osi poziomej - wartości skumulowanego zysku w tym przypadku wahają się od $-145,7$ do 1644 punktów.



Rys. 2. Efekty realizacji strategii uśredniającej

Fig. 2. Results of averaging strategy

Maksymalne obsunięcie kapitału, zdefiniowane wzorem (1), dla wartości $T = 31$ grudnia 2009 roku dla poszczególnych strategii elementarnych przedstawia rysunek 3 (linia przerywana). Na rysunku zaznaczony jest też końcowy zysk dla poszczególnych strategii elementarnych (linia ciągła). Na osi poziomej wykresów zaznaczono zmieniające się wartości parametru p . Natomiast maksymalne obsunięcie kapitału dla strategii uśredniającej wyniosło 1400,6, natomiast końcowy zysk wyniósł 531,1.



Rys. 3. Końcowe efekty stosowania strategii elementarnych

Fig. 3. Final results of elementary strategies

Jak można zauważyć, powyżej pewnej wartości parametru p wszystkie strategie elementarne są sobie równoważne i sprowadzają się do strategii „kup i trzymaj”. Z obliczeń wynika, że tą graniczną wartością parametru jest 255.

Ponieważ w przypadku stosowania strategii zrandomizowanych (prostej oraz z dodatkową regułą opisującą warunek, przy którym następuje przełączenie) wyniki zależą od wylosowanych wartości parametru p przy poszczególnych przełączeniach, wykonano 10 000 eksperymentów. W ich wyniku wyznaczono pewne statystyki charakteryzujące skuteczność każdej z nich: średni końcowy zysk (SKZ), odchylenie standardowe końcowego zysku (OSKZ) oraz odsetek przypadków, dla których końcowy zysk był ujemny (OPZU), przedstawione są one w tabeli 1.

Tabela 1
Statystyki charakteryzujące skuteczność strategii zrandomizowanych

| | SKZ | OSKZ | OPZU |
|------------------------------|--------|-------|------|
| Strategia prosta | 531,1 | 238,3 | 30% |
| Strategia z dodatkową regułą | 1179,3 | 20,6 | 13% |

Wyniki symulacji metodą Monte Carlo pokazują, że średnia skuteczność strategii zrandomizowanej rozumiana jako skumulowany końcowy zysk jest taka sama, jak w przypadku strategii uśredniającej. W przypadku stosowania prostej strategii zrandomizowanej aż 30% pojedynczych realizacji kończy się stratą (ujemnym skumulowanym zyskiem). Zastosowanie dodatkowej, opisanej wcześniej, reguły zwiększa średni końcowy zysk, przy jednoczesnym znaczącym zmniejszeniu jego odchylenia standardowego. Warto też przy tym podkreślić, że również zmniejsza się wtedy odsetek realizacji, dla których końcowy zysk był ujemny. Poza tym trzeba też pamiętać, że podstawową zaletą strategii zrandomizowanej jest znaczne, w stosunku do strategii uśredniającej, zmniejszenie kapitału niezbędnego do jej stosowania.

W przypadku strategii uśredniającej istnieje naturalne ograniczenie dla maksymalnej liczby stosowanych równoległe strategii elementarnych wynikające z ograniczonego kapitału, którym dysponuje inwestor. W powyższym przykładzie jako tę liczbę przyjęto 50. Jednak w przypadku strategii zrandomizowanej takie ograniczenie praktycznie nie występuje. Przeprowadzono zatem dodatkowy eksperyment, w którym jako tę liczbę przyjęto 500. Parametr p_{\min} ustalono jak uprzednio na 5, zaś parametr h był równy 1, uzyskano zatem ten sam zakres zmian parametru p przy zwiększonej gęstości wartości pośrednich. Wyniki tego eksperymentu zaprezentowane są w tabeli 2.

Tabela 2
Statystyki charakteryzujące skuteczność strategii zrandomizowanych w nowym eksperymencie

| | SKZ | OSKZ | OPZU |
|------------------------------|--------|------|------|
| Strategia prosta | 585,1 | 75,4 | 23% |
| Strategia z dodatkową regułą | 1234,2 | 20,6 | 9% |

Wyniki tego eksperymentu świadczą o tym, że zwiększona liczba strategii elementarnych może prowadzić do poprawy skuteczności strategii zrandomizowanych rozumianej jako skumulowany końcowy zysk. W tym przypadku dla prostej strategii zrandomizowanej zna-

cząco obniżyła się wartość odchylenia standardowego końcowego zysku, a także można założyć obniżenie się odsetka przypadków, dla których końcowy zysk był ujemny. W przypadku strategii zrandomizowanej z dodatkową regułą wartość odchylenia standardowego końcowego zysku nie zmieniła się, jednak pozostałe wartości statystyk (średni końcowy zysk oraz odsetek przypadków, dla których końcowy zysk był ujemny) polepszyły się.

BIBLIOGRAFIA

1. Balsara N.J.: Money Management Strategies for Futures Traders. Wiley, Nowy Jork 1992.
2. Chande T.: Beyond Technical Analysis: How to Develop and Implement a Winning Trading System. Wiley, Nowy Jork 1997.
3. Jajuga K., Jajuga T.: Inwestycje: instrumenty finansowe, ryzyko finansowe, inżynieria finansowa. PWN, Warszawa 1996.
4. LeBeau C., Lucas D.W.: Komputerowa analiza rynków terminowych. WIG-Press, Warszawa 1998.
5. Magdon-Ismael M., Atiya A.: Maximum Drawdown. Risk Magazine, 2004, Vol. 17, No. 10, s. 99÷102.
6. Momot A., Momot M.: Składowanie i przetwarzanie danych w systemach do tworzenia i oceny strategii inwestycyjnych na rynkach walutowych. Studia Informatica Vol. 30, No 2B (84), 2009, s. 191÷202.
7. Robert C.P., Casella G.: Monte Carlo Statistical Methods. Springer, Nowy Jork 2005.
8. Ross S.: Simulation. Academic Press, San Diego 2002.
9. Vince R.: The Mathematics of Money Management: Risk Analysis Techniques for Traders. Wiley, Nowy Jork 1992.
10. Weron A., Weron R.: Inżynieria finansowa. Wycena instrumentów pochodnych. Symulacje komputerowe. Statystyka rynku. WNT, Warszawa 1998.
11. Zalewski G.: Kontrakty terminowe w praktyce. WIG-Press, Warszawa 2006.

Recenzent: Dr inż. Zbigniew Buchalski

Wpłynęło do Redakcji 18 stycznia 2010 r.

Abstract

The article presents a proposal for a simple investment strategy which is intended to be used in the futures market. This strategy assumes that the investor is constantly alternating long or short position in the market, and the position change is done as a result of orders with the activation limit. This strategy requires the establishment of a numerical parameter. It is proposed to consider the model of averaging investment strategy based on the simultaneous use of multiple elementary strategies, each of which is characterized by a different value of this parameter. Alternatively, it is considered a different strategy which consists of random switching between the elementary strategies, the same as before. Due to the random nature of the strategy switching procedure the Monte Carlo method was used for the simulation in experiments. Two versions of the randomized strategies are proposed.

Empirical comparison of these strategies was made through numerical experiments, in which the data were quotations of future contract for WIG20 index on the Warsaw Stock Exchange. The results of the experiments show significant advantages to using the randomized strategy, particularly in the context of the capital requirements necessary for its implementation.

Adresy

Alina MOMOT: Politechnika Śląska, Instytut Informatyki, ul. Akademicka 16,
44-101 Gliwice, Polska, alina.momot@polsl.pl.

Michał MOMOT: Instytut Techniki i Aparatury Medycznej, ul. Roosevelta 118,
41-800 Zabrze, Polska, michal.momot@itam.zabrze.pl.