

Metody numeryczne, projekt 1: wskaźnik MACD

Wskaźnik **MACD**, czyli wskaźnik zbieżności/rozbieżności średnich kroczących (ang. *moving average convergence/divergence*), jest jednym z najpopularniejszych narzędzi w analizie technicznej instrumentów finansowych. Umożliwia identyfikację sygnałów kupna i sprzedaży, które mogą wspomóc ocenę sytuacji rynkowej, lecz należy traktować je jako pomocniczy element analizy technicznej, a nie jedyny fundament decyzji inwestycyjnych. Sygnały te często generowane są z opóźnieniem względem bieżących zmian cen, co sprawia, że wskaźnik MACD lepiej sprawdza się przy analizie długoterminowych trendów niż w strategiach krótkoterminowych. Do jego głównych zalet należą prostota implementacji oraz przejrzystość interpretacji wyników.

Podstawą konstrukcji wskaźnika MACD jest wyznaczenie krzywych MACD i SIGNAL. W popularnym podejściu krzywą MACD oblicza się jako różnicę następujących wykładniczych średnich kroczących:

$$\text{MACD} = \text{EMA}_{12} - \text{EMA}_{26}$$

gdzie:

- EMA_{12} oznacza 12-okresową wykładniczą średnią kroczącą,
- EMA_{26} oznacza 26-okresową wykładniczą średnią kroczącą.

Wartości parametrów 12 i 26 mogą być modyfikowane w celu optymalizacji wskaźnika dla konkretnego aktywa. Przy realizacji tego projektu wszelkie modyfikacje parametrów $\text{MACD}(12,26,9)$ należy traktować jako zadania dodatkowe, a rezultaty obliczeń porównywać z $\text{MACD}(12,26,9)$.

Linia SIGNAL to 9-okresowa wykładnicza średnia krocząca obliczana na podstawie wartości MACD. W analizie technicznej wartość 9 również może być modyfikowana w celu dostosowania wskaźnika do konkretnego aktywa. Przecięcia krzywych MACD i SIGNAL są interpretowane jako sygnały transakcyjne:

- przecięcie od dołu – sygnał kupna,
- przecięcie od góry – sygnał sprzedaży.

Wykładnicza średnia krocząca (ang. *exponential moving average*, EMA) jest odmianą średniej ważonej, w której wagi wcześniejszych cen maleją wykładniczo. Najczęściej EMA oblicza się na podstawie cen zamknięcia waloru w kolejnych przedziałach czasu¹. W porównaniu do prostej średniej ruchomej (ang. *simple moving average*, SMA), obliczanej jako średnia z ostatnich N cen, EMA charakteryzuje się szybszą reakcją na zmiany ceny aktywa oraz uwzględnieniem wszystkich wcześniejszych cen przy jednoczesnym stopniowym zmniejszaniu ich wpływu. Ze względu na te właściwości, EMA znajduje zastosowanie m.in. w konstrukcji wskaźnika MACD.

Wartość EMA dla i -tego przedziału czasu można obliczyć rekurencyjnie za pomocą zależności:

$$\text{EMA}_N(i) = \alpha \cdot x_i + (1 - \alpha) \cdot \text{EMA}_N(i - 1) \quad (1)$$

gdzie:

- cena zamknięcia w i -tym przedziale czasu (okresie): x_i ,
- liczba okresów: N ,
- współczynnik wygładzający: $\alpha = \frac{2}{N + 1}$.

Równanie (1) można przekształcić do postaci jawnej:

$$\text{EMA}_N(i) = \frac{x_i + (1 - \alpha)x_{i-1} + (1 - \alpha)^2 x_{i-2} + \dots + (1 - \alpha)^i x_0}{1 + (1 - \alpha) + (1 - \alpha)^2 + \dots + (1 - \alpha)^i} \quad (2)$$

Z obu przedstawionych równań wynika, że wartość EMA dla i -tego okresu zależy nie tylko od bieżącej ceny x_i , lecz także od wszystkich wcześniejszych cen z analizowanego przedziału czasowego.

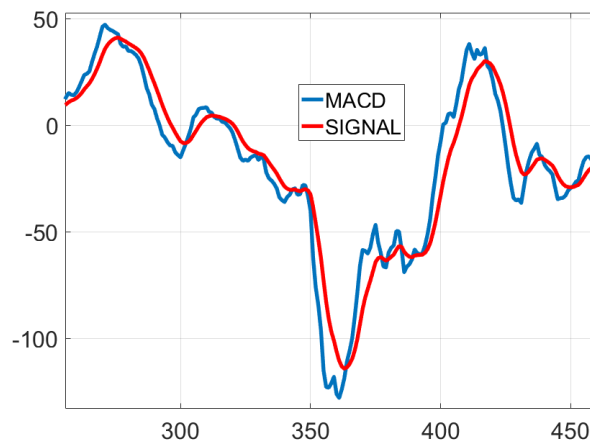
Podczas obliczania EMA pojawia się kwestia ustalenia jej wartości początkowych. Z postaci jawnej równania (2) wynika, że 26-dniową EMA można obliczyć już na podstawie drugiej ceny, co nie odpowiada

¹Dane historycznych notowań mogą zawierać cztery ceny odnoszące się do pojedynczego przedziału czasowego: cenę otwarcia, zamknięcia, maksymalną oraz minimalną. W wariantcie bazowym projektu obliczenia należy wykonywać wyłącznie na cenach zamknięcia. Prezentacja zmienności ceny przy użyciu wykresu świecowego, ilustrującego wszystkie cztery ceny dla każdego okresu, wykracza poza podstawowe wymagania projektu, lecz jest jak najbardziej akceptowalna.

intuicyjnemu rozumieniu średniej 26-dniowej, ponieważ nie uwzględnia okresu 26 dni. Podobnie, przy zastosowaniu zależności rekurencyjnej często przyjmuje się wartość $EMA_N(0) = x_0$, co umożliwia rozpoczęcie obliczeń od pierwszej ceny, ale generuje początkowe wartości, które mogą wykazywać oscylacje i nieprecyzyjnie odzwierciedlać zmienność cen.

Jednym ze sposobów zwiększenia dokładności początkowych wartości EMA jest rozpoczęcie obliczeń rekurencyjnych od momentu $i = N + 1$. Wówczas wartość $EMA_N(N)$ określa się jako średnią z pierwszych N cen. Należy podkreślić, że niezależnie od wybranej metody wyznaczania EMA, ich rezultaty dla dalszych okresów są zbieżne, ponieważ wkład pierwszej ceny x_0 maleje wykładniczo wraz ze wzrostem i . Zwykle przyjmuje się, że stabilizacja EMA następuje po N -tym okresie, choć preferowaną wartością jest $2N$. W projekcie nie wymaga się rezygnacji z przeprowadzania transakcji na podstawie początkowych wartości MACD i SIGNAL — kluczowe są wyciągnięte wnioski z przeprowadzonych transakcji. W implementacji projektu można zastosować dowolną z omawianych metod wyznaczenia EMA.

Wykres przedstawiający przykładowe krzywe MACD i SIGNAL:



Rysunek 1: Przykładowe krzywe MACD i SIGNAL

1 Algorytm

Wyznaczanie sygnałów kupna i sprzedaży przy użyciu wskaźnika MACD odbywa się według następujących kroków:

1. Na podstawie danych wejściowych oblicz dwie wykładnicze średnie kroczące:

- 26-okresową (EMA_{26}),
- 12-okresową (EMA_{12}).

2. Wyznacz krzywą MACD jako różnicę:

$$MACD = EMA_{12} - EMA_{26}$$

3. Wyznacz linię SIGNAL jako 9-okresową wykładniczą średnią kroczącą obliczoną z wartości MACD.

4. Wyznacz przecięcia krzywej MACD i SIGNAL:

- Przecięcie od dołu – sygnał kupna aktywa,
- Przecięcie od góry – sygnał sprzedaży aktywa.
- W sytuacji, gdy przecięcie występuje pomiędzy i -tym okresem oraz $(i + 1)$ -szym okresem, przyjmij $(i + 1)$ jako punkt przecięcia MACD i SIGNAL.

2 Główne wymagania dotyczące kodu

W ramach projektu należy m.in. zaimplementować funkcje służące do wyznaczania:

- **EMA** – wykładniczej średniej kroczącej,

- **MACD** – wskaźnika zbieżności/rozbieżności średnich kroczących,
- **SIGNAL** – linii sygnału.

Implementacja powinna być napisana samodzielnie, bez odwołań do zewnętrznych bibliotek, z wyjątkiem biblioteki `numpy`. Zastosowanie w obliczeniach numerycznych biblioteki `numpy` jest silnie rekomendowane ze względu na jej wysoką wydajność obliczeniową. Pomimo to, zastosowanie tej biblioteki w obliczeniach nie jest obowiązkowe. W celu weryfikacji poprawności implementacji funkcji wyznaczającej EMA, można porównać osiągnięte wyniki obliczeń z rezultatami funkcji `ewm` opisanej na stronie

<https://pandas.pydata.org/pandas-docs/stable/reference/api/pandas.DataFrame.ewm.html>

Funkcję `ewm` można stosować jako źródło danych odniesienia, jednak nie należy stosować tej funkcji w trakcie obliczeń **MACD** i **SIGNAL** (w tym celu należy zastosować własną implementację EMA).

3 Zadania do wykonania

1. Zapoznaj się z teorią wskaźnika **MACD** (korzystając zarówno z niniejszej instrukcji, jak i z innych dostępnych źródeł).
2. Wybierz dane wejściowe zapisane w pliku `*.csv` zawierające około 1000 elementów. Mogą to być historyczne wartości indeksu WIG20, dane z rynku FOREX, notowania kryptowalut, obligacji, surowców itp.
3. Należy zaimplementować w języku Python wyznaczanie wartości wskaźnika **MACD** (bez korzystania z bibliotek, które już go udostępniają). Do wczytania danych w formacie `*.csv` można użyć biblioteki `pandas`. W ramach tego zadania należy opracować i zinterpretować co najmniej dwa wykresy wykonane dla wybranego zestawu danych (zawierającego ok. 1000 elementów):
 - wykres notowań analizowanego instrumentu finansowego,
 - wykres zawierający: a) **MACD**, b) **SIGNAL**, c) punkty kupna i sprzedaży oznaczone różnymi symbolami lub kolorami.

Liczba punktów za zadanie: 2.

4. Następnie należy ocenić, czy wskaźnik **MACD** może być pomocny przy podejmowaniu decyzji o kupnie i sprzedaży wybranego instrumentu finansowego. W tym celu trzeba przedstawić i zinterpretować co najmniej dwa wykresy przedstawiające transakcje kupna-sprzedaży. Każdy z tych wykresów powinien ilustrować jedną lub dwie wyraźnie zaznaczone transakcje kupna-sprzedaży oraz od czterech do ośmiu przecięć **MACD** i **SIGNAL**. W sprawozdaniu należy przedstawić analizę zilustrowanych transakcji wraz ze wskazaniem wartości zysku lub straty każdej z nich.

Liczba punktów za zadanie: 3.

5. Kolejne zadanie wymaga opracowania programu, który automatycznie, na podstawie wskaźnika **MACD**, podejmuje decyzje o kupnie lub sprzedaży wybranego instrumentu finansowego. Symulację działania tego programu należy przeprowadzić rozpoczynając od **kapitału początkowego wynoszącego 1000 jednostek** wybranego instrumentu finansowego. Symulację należy przeprowadzić dla całości danych wejściowych (nie należy uwzględniać tych próbek, dla których wartość **MACD** lub **SIGNAL** nie jest prawidłowo wyznaczona). Głównym rezultatem działania programu ma być końcowy kapitał inwestora. Otrzymane rezultaty symulacji należy przeanalizować i zinterpretować w sprawozdaniu. Częścią tej analizy powinno być przedstawienie wykresu, który ilustruje jak zmienia się wartość portfela inwestycyjnego (suma gotówki oraz wyceny posiadanych instrumentów finansowych) po kolejnych transakcjach. Dodatkowo, należy opisać ile z przeprowadzonych transakcji zakończyło się zyskiem a ile stratą wraz z oceną skuteczności zastosowania **MACD** do przeprowadzania transakcji finansowych. Przedstawione wnioski można uzasadnić dodając kolejne wykresy ilustrujące transakcje.

Liczba punktów za zadanie: 2.

6. Za wstęp i podsumowanie można uzyskać maksymalnie po 1,5 punktu.

4 Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy przedstawić wnioski, uzasadnić przydatność lub brak przydatności **MACD** w analizie technicznej, wskazać miejsca na wykresach, gdzie **MACD** pomaga lub zawodzi. Sprawozdanie w formacie **PDF** oraz kod źródłowy należy umieścić w pliku zip, który należy przesłać na platformę eNauczanie na stronie [prol](#).