

Politechnika Wrocławska  
Wydział Informatyki i Telekomunikacji

---

Kierunek: **Informatyka Algorytmiczna (INA)**

PRACA DYPLOMOWA  
MAGISTERSKA

Zastosowanie modelowania agentowego do  
symulacji rynku

Agata Cieřlik

Opiekun pracy  
dr inř. Jakub Lemiesz

słowa kluczowe: modelowanie agentowe

---

WROCLAW 2023

Wstep

# Spis treści

<b>1 Rynek</b>	<b>5</b>
1.1 Arkusz zleceń . . . . .	5
1.2 Rodzaje zleceń rynkowych . . . . .	6
1.3 Strategie . . . . .	9
<b>2 Model agentowy</b>	<b>10</b>
2.1 Agenci . . . . .	10
2.2 Kalibracja modelu . . . . .	10
2.3 Przebieg symulacji . . . . .	10
2.3.1 Framework . . . . .	10
<b>3 Model symulacji rynku</b>	<b>11</b>
3.1 Klasy agentów . . . . .	11
3.2 Wyrocznia . . . . .	11
3.3 Bazowa konfiguracja modelu . . . . .	11
<b>4 Modyfikacja modelu</b>	<b>12</b>
4.1 Komunikacja między agentami . . . . .	12
4.2 Rozszerzenie wyroczni . . . . .	12
<b>5 Symulacja</b>	<b>13</b>
5.1 Agent eksperymentalny . . . . .	13
5.1.1 Strategia inwestycyjna . . . . .	13
5.2 Konfiguracje eksperymentalne . . . . .	13
5.2.1 Scenariusz 0: pełny dostęp do informacji . . . . .	13

5.2.2	Scenariusz 1: ograniczony dostęp do informacji . . . . .	13
5.2.3	Scenariusz 2: uprzywilejowany dostęp do informacji . . . . .	13
<b>6</b>	<b>Analiza wyników symulacji</b>	<b>14</b>

# Rozdział 1

## Rynek

Słowo *rynek* ma bardzo szerokie znaczenie. Z punktu widzenia teoretycznego możemy tak nazwać każdą okoliczność, w której dochodzi do spotkania dwóch stron - kupujących i sprzedających [4]. Ogólna definicja sprzyja stosowaniu tego terminu do nazywania skrajnie różnych obiektów. Z jednej strony, rynkiem często nazywane jest, ogólnie rozumiane, miejsce handlu, z drugiej jest to również słowo używane standardowo do określenia całości ogólnoswiatowego obrotu ustalonym rodzajem aktywa (np. rynek nieruchomości, rynek walutowy, rynek kapitałowy).

W kontekście tej pracy przez tytułowy *rynek* rozumiemy handel pojedynczym instrumentem finansowym (akcją, kryptowalutą) na giełdzie. By zbudować model agentowy, z zasady odtwarzający rzeczywiste mechanizmy, potrzebujemy zrozumieć jego funkcjonowanie oraz motywacje i możliwe strategie jego uczestników - potencjalnych agentów.

### 1.1 Arkusz zleceń

W badanym przez nas rynku ważną rolę pełni *giełda* - instytucja umożliwiająca handel według ustalonych zasad (regulacji)[3]. Giełda zbiera *zlecenia* kupna lub sprzedaży składane przez uczestników rynku oraz realizuje *transakcje* poprzez dopasowywanie przeciwnych zleceń. Instytucje i osoby handlujące wybranym instrumentem na giełdzie będziemy nazywać *graczami* lub *uczestnikami rynku*.

Dopuszczalna forma zleceń oraz sposób ich przetwarzania przez giełdę może się

różnić w zależności od przedmiotu handlu. W tej pracy rozważamy system obrotu dominujący [2] w sektorze kapitałowym i walutowym - rynek organizujący handel w oparciu o arkusz zleceń (ang. *limit order book market*).

**Definicja 1.1.1. Arkuszem zleceń** (ang. *order book*) nazywamy zestawienie aktualnych ofert kupna i sprzedaży instrumentu.

Oferty w arkuszu zleceń uporządkowane są według ich korzystności, tj. oferty kupna uporządkowane są malejąco po cenie (od najlepszej do najgorszej ceny dla sprzedającego), natomiast oferty sprzedaży są uporządkowane rosnąco po cenie (od najlepszej do najgorszej ceny dla kupującego).

Oferty kupna (BID)		Oferty sprzedaży (ASK)	
wolumen	cena	wolumen	cena
10	99,5	8	100
5	98,75	6	100,5
5	98,5	3	101
4	98	2	110

Rysunek 1.1: Przykładowy fragment arkusza zleceń

## 1.2 Rodzaje zleceń rynkowych

By w pełni zrozumieć możliwe strategie graczy niezbędne jest sprecyzowanie, jakiego rodzaju operacje mogą wykonywać na rynku. Giełda określa, jakie działania może podjąć każdy z uczestników, definiując dostępne typy zleceń, które odpowiadają różnym sposobom realizacji kupna lub sprzedaży.

Szczegółowy format zlecenia, jego parametry oraz typy są formułowane indywidualnie przez każdą giełdę w jej regulaminie. W naszych symulacjach ograniczymy się do uwzględnienia kilku standardowych rodzajów zleceń i ich kluczowych parametrów, opisanych na podstawie regulacji polskiej Giełdy Papierów Wartościowych [1].

**Definicja 1.2.1. Zleceniem** (ang. *order*) nazywamy instrukcję kupna lub sprzedaży wysyланą na giełdę. Sposób realizacji zlecenia jest określony przez parametry:

1. nazwę lub kod instrumentu,
2. rodzaj oferty - kupno (*BUY*) lub sprzedaż (*SELL*),
3. liczbę sztuk,
4. limit ceny lub polecenie wykonania zlecenia bez określania limitu ceny,
5. termin ważności.

Typy zleceń możemy traktować jak podzbiory możliwych parametryzacji. W tej pracy uwzględnimy cztery podstawowe typy zleceń wyznaczone na podstawie parametru limitu ceny i rodzaju oferty: zlecenie kupna po każdej cenie, zlecenie sprzedaży po każdej cenie oraz zlecenie kupna z limitem realizacji i zlecenie sprzedaży z limitem realizacji.

**Definicja 1.2.2. Zlecenie po każdej cenie** (ang. *market order*) jest zleceniem rynkowym bez określonego limitu realizacji (ceny). Realizowane jest po najlepszych możliwych cenach zleceń przeciwstawnych oczekujących na realizację w arkuszu zleceń. Ze względu na rodzaj oferty wyróżniamy:

1. **zlecenie kupna po każdej cenie** (*buy market order*),
2. **zlecenie sprzedaży po każdej cenie** (*sell market order*).

Oferty kupna (BID)		$\Rightarrow$	Oferty kupna (BID)	
wolumen	cena		wolumen	cena
10	99,5		3	98,5
5	98,75		4	98
5	98,5			
4	98			

Rysunek 1.2: Realizacja zlecenia sprzedaży 17 sztuk po każdej cenie

**Definicja 1.2.3. Zlecenie z limitem realizacji** (ang. *limit order*) jest zleceniem rynkowym z określonym limitem realizacji (ceny). Realizowane jest po cenie określonej w podanym limicie albo po cenie korzystniejszej. Ze względu na rodzaj oferty wyróżniamy:

1. **zlecenie kupna z limitem realizacji** (*buy limit order*) - realizowane jest po określonej cenie maksymalnej lub niższej,
2. **zlecenie sprzedaży po z limitem realizacji** (*sell limit order*) - realizowane jest po określonej cenie minimalnej lub wyższej.

Oferty kupna (BID)		Oferty sprzedaży (ASK)	
wolumen	cena	wolumen	cena
10	99,5	8	100
5	98,75	6	100,5
5	98,5	3	101
4	98	2	110

⇓

Oferty kupna (BID)		Oferty sprzedaży (ASK)	
wolumen	cena	wolumen	cena
2	100	6	100,5
10	99,5	3	101
5	98,75	2	110
5	98,5		
4	98		

Rysunek 1.3: Realizacja zlecenia kupna 10 sztuk z limitem ceny (ceną maksymalną) wysokości 100: kupowana jest liczba sztuk mieszcząca się w limicie ceny, reszta zlecenia dodawana jest jako nowe zlecenie oczekujące do książki zleceń.

Wybór typu zlecenia zależy od aktualnych priorytetów gracza - użycie zlecenia po każdej cenie minimalizuje czas realizacji, z kolei zlecenie z limitem ceny (realizacji) daje większą kontrolę nad ceną kupna lub sprzedaży kosztem potencjalnego dłuższego czasu realizacji oraz większego ryzyka niezrealizowania zlecenia w oczekiwanym czasie.

Pozostałe dostępne zlecenia są wariantami (uwzględniającymi dodatkowe warunki, które muszą być spełnione by zlecenie zostało zrealizowane) lub kombinacjami opisanych wyżej zleceń. Przykładem wariantu zlecenia po każdej cenie może być zlecenie typu *STOP Loss* [1]. Zlecenie *STOP Loss* przyjmuje dodatkowy parametr - limit aktywacji, który określa po osiągnięciu jakiej ceny zlecenie ma zostać zrealizowane. Ten typ zlecenia jest stosowany jako forma zabezpieczenia przed stratą -



Tabela 1.1: Podstawowe rodzaje zleceń giełdowych na GPW i ich oznaczenia

<b>nazwa zlecenia</b>	<b>nazwa (ang.)</b>	<b>oznaczenie</b>	<b>limit ceny</b>
zlecenie po każdej cenie	<i>market order</i>	PKC	nie
zlecenie z limitem realizacji	<i>limit order</i>	LIMIT	tak
zlecenie po cenie rynkowej	<i>inside limit order</i>	PCR	nie
zlecenie po każdej cenie z limitem aktywacji	<i>stop-limit order</i>	STOP Limit	tak
zlecenie z limitem realizacji z limitem aktywacji	<i>stop-loss order</i>	STOP Loss	nie
zlecenie ze zmiennym limitem realizacji	<i>primary pegged order</i>	PEG	tak

dajemy dyspozycję natychmiastowej sprzedaży na wypadek spadku ceny poniżej akceptowalnego dla nas poziomu. Tabela 1.1 przedstawia zestawienie głównych typów zleceń Giełdy Papierów Wartościowych z obowiązującą nomenklaturą i informacją o limicie realizacji dla danego typu.

### 1.3 Strategie

# Rozdział 2

## Model agentowy

### 2.1 Agenci

### 2.2 Kalibracja modelu

### 2.3 Przebieg symulacji

#### 2.3.1 Framework

## Rozdział 3

# Model symulacji rynku

### 3.1 Klasy agentów

### 3.2 Wyrocznia

### 3.3 Bazowa konfiguracja modelu

## Rozdział 4

### Modyfikacja modelu

#### 4.1 Komunikacja między agentami

#### 4.2 Rozszerzenie wyroczni

# Rozdział 5

## Symulacja

### 5.1 Agent eksperymentalny

#### 5.1.1 Strategia inwestycyjna

### 5.2 Konfiguracje eksperymentalne

#### 5.2.1 Scenariusz 0: pełny dostęp do informacji

#### 5.2.2 Scenariusz 1: ograniczony dostęp do informacji

#### 5.2.3 Scenariusz 2: uprzywilejowany dostęp do informacji

## Rozdział 6

### Analiza wyników symulacji

# Podsumowanie

# Bibliografia

- [1] Szczegółowe zasady obrotu giełdowego w systemie utp, 2023.  
[https://www.gpw.pl/pub/GPW/files/PDF/regulacje/SZOG\\_pl.pdf](https://www.gpw.pl/pub/GPW/files/PDF/regulacje/SZOG_pl.pdf)  
[dostęp: 11.04.2023].
- [2] Martin D Gould, Mason A Porter, Stacy Williams, Mark McDonald, Daniel J Fenn, and Sam D Howison. Limit order books. *Quantitative Finance*, 13(11):1709–1742, 2013.
- [3] L. Harris. *Trading and Exchanges: Market Microstructure for Practitioners*. Financial Management Association survey and synthesis series. Oxford University Press, 2003.
- [4] I. M. Kirzner. *Market theory and the price system*. Ludwig von Mises Institute, 2007.