

Systemy agentowe:
Wieloagentowy symulator rynku
Dokumentacja końcowa

Aleksandra Dzieniszewska
Jakub Łyskawa
Eryk Warchulski
Prowadzący: dr inż. Dominik Ryżko

19 stycznia 2020
wer. 1.0

Spis treści

1	Wprowadzenie	2
2	Model zjawiska	2
2.1	Model rynku	2
2.2	Model Agenta	2
2.2.1	Zasoby	2
2.2.2	Polityka decyzyjna	2
2.2.3	Protokół komunikacyjny	3
3	Architektura systemu	5
3.1	Moduł inicjujący	6
3.1.1	Sposób użycia	6
3.2	Moduł sieci połączeń	6
3.3	Moduł konfiguracyjny	8
3.4	Moduł Agenta	9
3.4.1	Logika agenta	11
3.4.2	Polityki decyzyjne	11
3.5	Moduł archiwizujący	12
3.6	Moduł wizualizujący	13
3.7	Moduł raportowo-analityczny	14
4	Eksperymenty	15
4.1	Generacja monopolu	15
4.2	Działanie sieci wielkoskalowej	17

1 Wprowadzenie

Celem niniejszego projektu była implementacja symulatora rynku dóbr konsumpcyjnych w oparciu o paradygmat systemów wieloagentowych. Dokument ten składa się z trzech sekcji: w sekcji (2) omówiony jest model agenta oraz modelu rynku, którego dotyczą symulacje. Sekcja (3) zawiera opis architektury systemu, tj. modułów oraz sposobu ich działania, które składają się na system. Sekcja ostatnia – (4) – zawiera opis przykładowych symulacji, które można przeprowadzać w ramach dostarczonego systemu.

2 Model zjawiska

Przedstawiony w tej sekcji model zjawiska jest spójny z dokumentacją wstępną.¹

2.1 Model rynku

Rynek determinowany jest poprzez strukturę połączeń między agentami przy czym struktura połączeń jest generowana przez wybrany graf losowy (Barabasi-Albert, dowolny inny lub zadany przez użytkownika). Rynek działa ciągle i po czasie t jego stan jest archiwizowany, co jest niezależne od podmiotów-agentów na rynku.

2.2 Model Agenta

2.2.1 Zasoby

- agent A_i w chwili t posiada $Z^{A_i}(t)$ zasobu i ma możliwość wygenerować większą jego ilość, która będzie go kosztowała $g(z)$, gdzie z jest przyrostem zasobu
- agent może przechowywać zasób lub go sprzedać, wchodząc w negocjacje handlowe z pozostałymi agentami na rynku, z którymi agent jest połączony (patrz struktura połączeń)
- produkcja agenta jest ograniczona przez $P_{max}^{A_i}(t, \delta t)$
- każdy agent posiada maksymalny stan magazynowy zasobu Z , którego nie może przekroczyć, i wynosi on M^{A_i}
- jeśli agent przekroczy maksymalny stan posiadania M^{A_i} , to zobligowany jest do zapłacenia kosztu utylizacji nadmiarowej ilości zasobu Z
- agenci mają potrzeby konsumpcyjne $C^{A_i}(t, \delta t)$, które chcą zaspokoić
- jeśli agent nie zaspokoi swoich potrzeb konsumpcyjnych po czasie T od ich wygenerowania, to zobligowany jest do zapłacenia kosztu
- agenci posiadają na starcie określoną ilość środka wymiany K^{A_i} , który jest im przydzielony w sposób losowy lub zdeterminowany przy inicjalizacji systemu
- agent otrzymuje środek wymiany zgodnie z funkcją $f^{A_i}()$

2.2.2 Polityka decyzyjna

Polityka decyzyjna określa zachowanie agentów na rynku.

Przyjmuje się, że polityka decyzyjna agenta sparametryzowana jest następującymi wielkościami:

- obecne zapotrzebowanie agenta $R \geq 0$
- czas, w którym agent musi zaspokoić swoje zapotrzebowanie T_s liczony od czasu startu sesji

¹Dokumentacja wstępna zamieszczona jest pod niniejszym [adresem](#).

-
- obecny stan agenta S , który jest liczbą posiadanych jednostek zasobu Z przez agenta
 - obecny budżet agenta B , który jest liczbą posiadanych jednostek wymiany K przez agenta
 - funkcją kosztu produkcji $g(z)$
 - funkcją limitu produkcji $P(t, \delta t)$
 - kosztem utylizacji dóbr nadmiarowych M_c
 - kosztem niezaspokojenia potrzeb konsumpcyjnych C
 - limitem posiadanych jednostek zasobu M

Agent w oknie czasowym T_w , wyznaczającym czas trwania negocjacji, generuje oferty sprzedaży (obiekt **Os**) oraz kupna (obiekt **Ob**), na które nałożone są limity:

- $\text{Ob.value} \leq B \wedge \text{Ob.n} \leq M - S$, które kolejno oznaczają: cena zakupionej ilości towaru nie może przekraczać budżetu agenta oraz ilość zakupionego towaru nie może być większa od dostępnej jeszcze liczby jednostek zasobu, które agent może przechowywać.
- $\text{Os.n} \leq S$, tj. ilość sprzedanego towaru nie może być większa pod stan posiadania agenta.

Na podstawie powyższych ustaleń proponowana polityka decyzyjna agenta może być wyglądać następująco:

- **Os**, **Ob** są aktualnymi ofertami kupna i sprzedaży
- **Ns** jest agentem inicjalizującym transakcję

buyer initializes

```
initial buy offer = (rand(R - S, M - S), 0 if Ob empty else
                    min(Ob).value * rand(0, 1))
```

seller counter offer:

```
n = min{S, 0'b(Ns).number}
value = random with boundaries:
    value >= max(g(S), 0'b(Ns).value)
    if 0's not empty:
        value < min{0's(n) where n is not self}
```

buyer counter offer:

```
n = keep previous w.r.t. limits
if n = 0 then withdraw
value = random with distribution depending on Ts and boundaries:
    value <= min{0's} & value >= previous
```

2.2.3 Protokół komunikacyjny

Komunikacja bazuje na protokole konwersacji o akcji i może się odbywać w jednym z dwóch trybów:

- 1-1, tj. agent formułuje ofertę **O** kupna lub sprzedaży (patrz polityka decyzyjna) i przekazuje ją wyłącznie do jednego agenta
- 1-m, tj. komunikacja typu *broadcast*, w której agent formułuje ofertę **O** kupna lub sprzedaży i rozsyła ją do co najmniej dwóch różnych agentów.

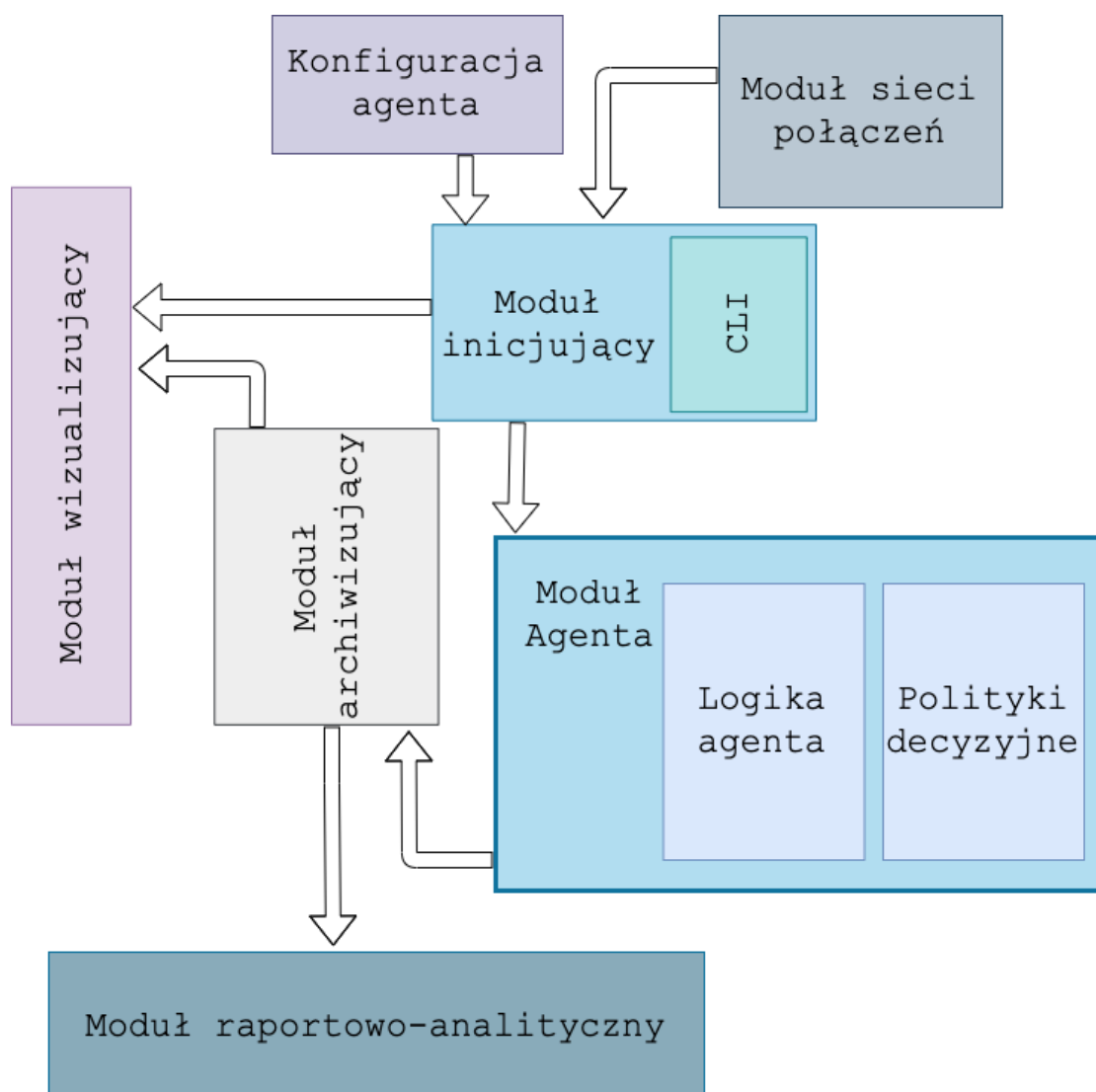
Oferta jest trójką (i, p, t_{out}) , na którą składa się:

-
- i liczba jednostek zasobu Z , które agent chce sprzedać lub kupić w trakcie transakcji z kontrahentami, tj. agentami przyjmującymi ofertę sprzedaży lub kupna od agenta inicjującego komunikację
 - p oferowana cena kupna lub sprzedaży
 - t_{out} czas trwania oferty

Jeśli agent-kontrahent nie przystąpi do negocjacji z agentem oferującym po czasie t_{out} , to komunikacja między tymi agentami jest zerwana. Pozostałe warunki zerwania komunikacji między agentami wyznaczone są przez parametry polityki decyzyjnej agentów lub maksymalny czas oczekiwania na odpowiedź τ . Jeśli odpowiedź kontrahenta w trakcie negocjacji przyjdzie po czasie τ , to agent inicjujący negocjacje zrywa ją.

3 Architektura systemu

Rysunek (1) przedstawia architekturę implementowanego systemu. W sekcji tej znajduje się omówienie każdego modułu składowego systemu i przedstawienie wzajemnych relacji między nimi. Do części z nich podane są diagramy klas UML – w niektórych przypadkach z niepełnym interfejsem, co wynika z dużej liczby metod oferowanych przez daną klasę. Ponadto w dostarczonym kodzie źródłowym znajduje się dokumentacja każdej używanej funkcji lub metody klas wraz opisem parametrów wejściowych. Opis zawarty w tej sekcji abstrahuje od szczegółów implementacyjnych.



Rysunek 1: Architektura systemu z zaznaczanymi modułami składowymi.

3.1 Moduł inicjujący

Jest to moduł odpowiedzialny za inicjalizację wszystkich pozostałych składowych systemu oraz uruchomienie środowiska symulacji. Moduł ten:

- uruchamia moduł archiwizujący, w którym zapisywane są zdarzenia generowane przez agentów oraz stan systemu
- wczytuje z plików konfiguracyjnych strukturę połączeń między agentami oraz ich parametry wewnętrzne
- włącza interfejs graficzny pozwalający na komunikację z systemem za pomocą zbioru komend
- włącza moduł wizualizujący sieć połączeń oraz zdarzenia, która zachodzą w trakcie symulacji.

3.1.1 Sposób użycia

W celu aktywacji modułu inicjalizującego, a tym samym całego systemu symulacyjnego należy użyć poniższej komendy

```
python run.py [-h] -config CONFIG [-log LOG] [-log_stream out,err] [-vis VIS]
```

w której należy podać:

- ścieżkę do pliku z konfiguracją agentów `CONFIG`
- ścieżkę do pliku, w którym będzie zapisywane archiwum zdarzeń zaszłych w trakcie symulacji `LOG`
- strumień na który moduł archiwizujący będzie wypisał zdarzenia zaszłe w trakcie symulacji
 - `err`
 - `out`
- flagę aktywującą moduł wizualizacyjny `VIS`.

3.2 Moduł sieci połączeń

Moduł ten odpowiada za stworzenie sieci połączeń między agentami. Na rysunku (2) zawarty jest diagram klas UML przedstawiający metody dostarczane przez ten moduł.



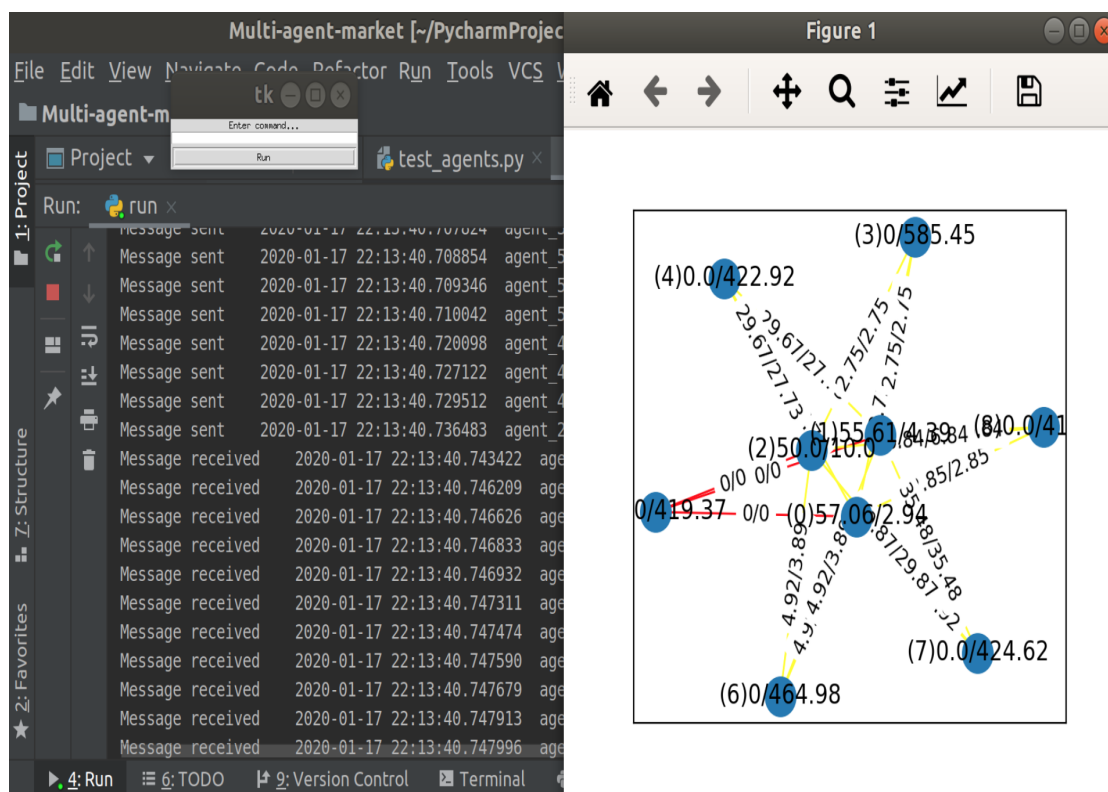
Rysunek 2: Diagram klas modułu sieci połączeń.

Poza stworzeniem sieci połączeń moduł również ładuje polityki decyzyjne agentów oraz umożliwia zapis/odczyt sieci i jej parametrów do/z plików **YAML**.

Moduł inicjujący odpowiedzialny jest również za aktywowanie interfejsu linii komend, w której użytkownik może komunikować się z systemem w trakcie trwania symulacji. Dostępne możliwe komendy są następujące:

- wyłączenie agenta z symulacji komendą o składni **kill [agent id]**
- ponowne włączenie agenta do symulacji komendą o składni **restore [agent id]**
- wyłączenie symulacji komendą **shutdown**.

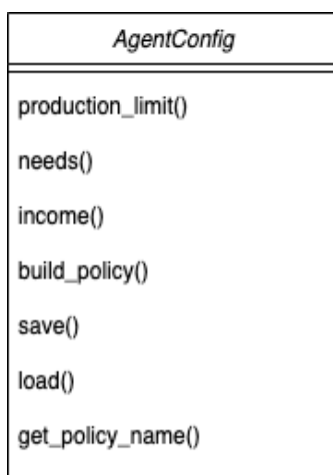
W celu wprowadzania komend dedykowane jest specjalne okno, które widnieje na rysunku (3) prezentującym działanie systemu.



Rysunek 3: System wypisuje archiwum zdarzeń na strumień standardowego wyjścia oraz widoczne jest działanie modułu wizualizującego. Okno przy lewym górnym rogu zapewnia CLI.

3.3 Moduł konfiguracyjny

Moduł konfiguracyjny odpowiedzialny jest za ustawienie wszystkich wartości parametrów agenta, które zostały opisane w sekcji (2). Na rysunku (4) zawarty jest diagram klas UML przedstawiający metody dostarczane przez ten moduł.



Rysunek 4: Diagram klas modułu konfiguracyjnego.

Metody:

- `production_limit()`
- `needs()`
- `income()`

zwracają na podstawie aktualnego czasu symulacji oraz pewnego kroku czasowego dt skalar-
ną wartość odpowiedzialną za – kolejno – limit produkcji, potrzeby konsumpcyjne agenta oraz
przychód.

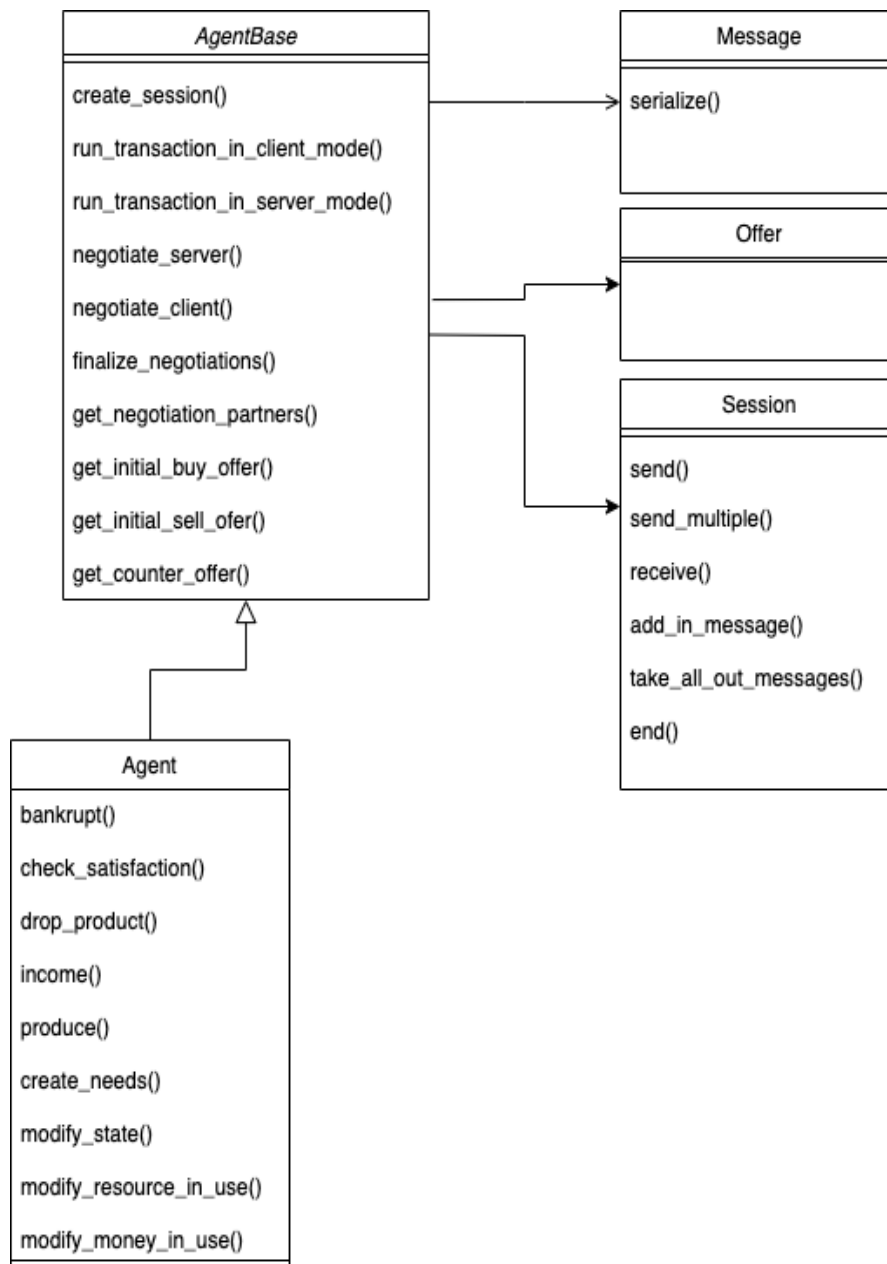
Pozostałe metody odpowiadają za wywołanie konstruktora polityk decyzyjnych oraz operacje
zapisu/odczytu parametrów konfiguracyjnych z plików `YAML`.

3.4 Moduł Agent

Moduł ten jest najbardziej złożonym elementem systemu i składa się z dwóch podmodułów, które
zostaną krótko scharakteryzowane:

- modułu logiki agenta
- modułu polityk decyzyjnych agenta.

Na rysunku (6) znajduje się diagram klas przedstawiający elementy składowe modułu agenta,
tj.:



Rysunek 5: Diagram klas modułu agenta.

- klasę **AgentBase** implementującą model agenta zgodny z (2) oraz zachowania agenta związane z generacją oraz wysyłaniem wiadomości
- klasę **Agent**, tj. klasę dziedziczącą po **AgentBase**, w której zaimplementowana jest logika działania agenta
- klasę **Offer**, która reprezentuje ofertę formułowaną i nadawaną przez agenta

-
- klasę `Message`, która reprezentuje wiadomości wysyłane między agentami
 - klasę `Session`, która modeluje sesję utrzymywaną przez agenta w ramach jego działania na rynku.

3.4.1 Logika agenta

Logika agenta jest implementowana w klasie `Agent` i składają się na nią wszystkie możliwe akcje podejmowane przez agenta w trakcie trwania sesji.

Zbiór akcji agenta składa się z następujących elementów:

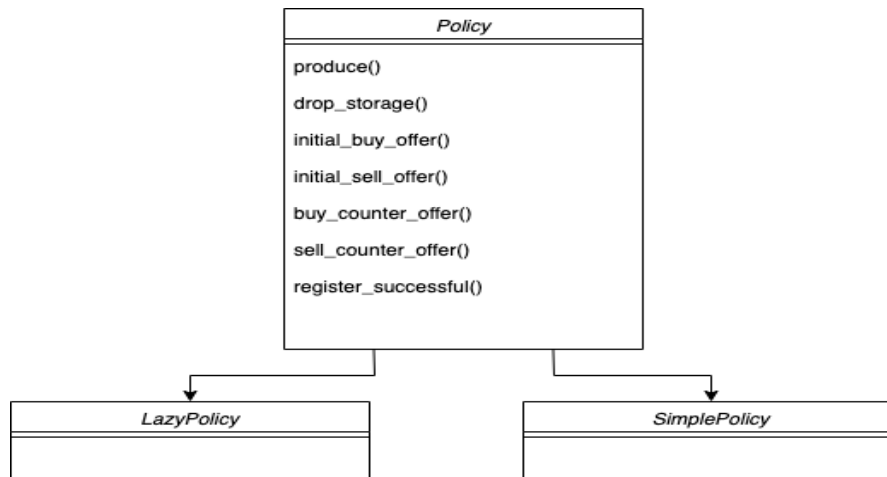
- utworzenie oferty (klasa `CreateOffers`)
- generacja produktu (klasa `GenerateProduct`)
- usunięcie produktu (klasa `DropProduct`)
- generacja potrzeb (klasa `ManageNeeds`)
- generacja przychodu (klasa `GenerateIncome`)

Wszystkie zachowania są modelowane jako zachowania cykliczne (*CyclicBehaviour*) w sensie definiowanym przez bibliotekę `spade`.

3.4.2 Polityki decyzyjne

Podmoduł polityk decyzyjnych jest odpowiedzialny za przebieg wykonania akcji definiowanych w ramach logiki agenta.

Na rysunku (??) zawarty jest diagram klas UML przedstawiający metody dostarczane przez ten moduł.



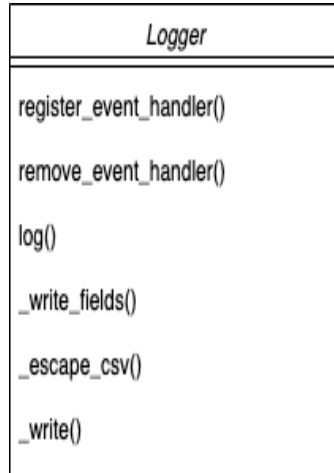
Rysunek 6: Diagram polityk decyzyjnych.

Klasa `Policy` jest klasą abstrakcyjną po której dziedziczą klasy `LazyPolicy` oraz `SimplePolicy`.

Użytkownik posiada dowolność w definiowaniu klas polityk agentów z dokładnością do zgodności typów zwracanych przez funkcje.

3.5 Moduł archiwizujący

Moduł ten pozwala na wypisywanie informacji o stanie systemu na standardowe wyjście. Na rysunku (4) zawarty jest diagram klas UML przedstawiający metody dostarczane przez ten moduł.



Rysunek 7: Diagram klas modułu archiwizującego.

Umożliwia on także zapisywanie tych informacji do pliku. Na podstawie danych z tego modułu tworzona jest wizualizacja symulacji oraz część analityczna. W tabeli (1) zawarte są wszystkie zdarzenia, które są przekazywane do modułu archiwizującego.

Zdarzenia zostały podzielone na domeny, których dotyczą, tj.:

- domena **Logger** dotyczy zdarzeń związanych z modułem archiwizującym
- domena **Agent** dotyczy zdarzeń związanych ze stanem agenta
- domena **Sesja** dotyczy zdarzeń związanych z sesją handlową prowadzoną przez agenta
- domena **System** dotyczy zdarzeń związanych z działaniem systemu

Domena	Zdarzenia
Logger	<i>EVENT_LOGGER_INITIALIZED</i>
Agent	<i>EVENT_AGENT_INITIAL_OFFER,</i> <i>EVENT_AGENT_OFFER_CHANGED,</i> <i>EVENT_AGENT_OFFER_ACCEPTED,</i> <i>EVENT_AGENT_OFFER_REJECTED,</i> <i>EVENT_AGENT_STATE_CHANGED,</i> <i>EVENT_AGENT_BANKRUPTED</i>
Sesja	<i>EVENT_MESSAGE_SENT,</i> <i>EVENT_MESSAGE_RECEIVED,</i> <i>EVENT_SERVER_NEGOTIATION_BREAKDOWN,</i> <i>EVENT_CLIENT_NEGOTIATION_BREAKDOWN,</i> <i>EVENT_SERVER_FAILED_TO_RESPOND</i>
System	<i>EVENT_SYSTEM_INITIALIZED,</i> <i>EVENT_SYSTEM_CLOSE,</i> <i>EVENT_EXCEPTION,</i> <i>EVENT_CLI</i>

Tabela 1: Tabela ze wszystkimi zdarzeniami, które odnotowuje moduł archiwizujący.

3.6 Moduł wizualizujący

Moduł ten pozwala na wyświetlanie symulacji w czasie rzeczywistym.

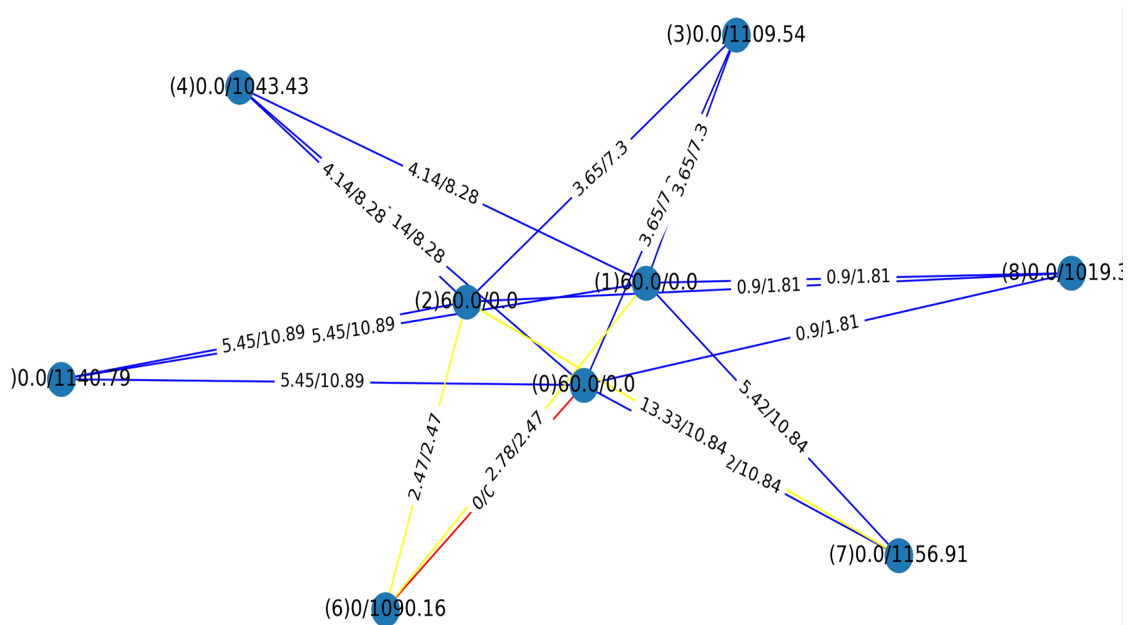
W węzłach grafu sieci połączeń przechowywany jest obecny stan agenta w formacie **liczba produktu/liczba środków wymiany**.

Kolor krawędzi oznacza jaką akcja wykonywana jest w danym momencie przez agentów w ramach negocjacji handlowych:

- czarny – beczynny
- niebieski – wysłanie oferty
- żółty – wysłanie kontroferty
- czerwony – zerwanie negocjacji
- zielony – zaakceptowanie oferty

Krawędzie opisane są liczbą produktu oraz środka wymiany, które są przedmiotem oferty w identycznym foramcie jak stan agenta w węźle.

Na rysunku (8) zaprezentowana jest przykładowa wizualizacja symulacji.



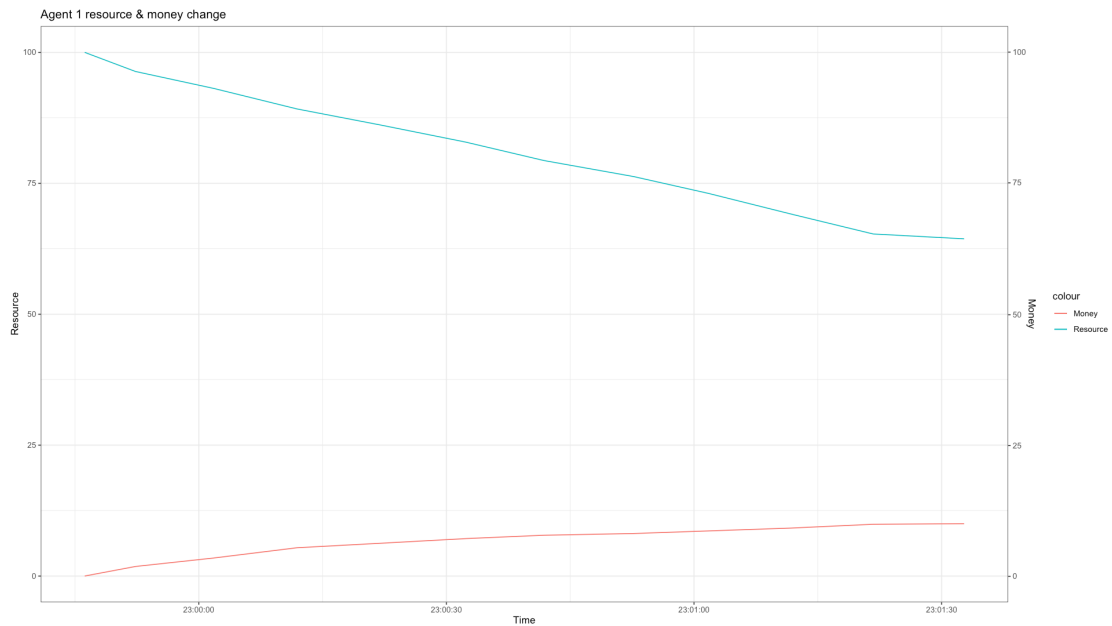
Rysunek 8: Wizualizacja symulacji złożonej z 9 agentów. Agent (3) posiada 0 jednostek produktu oraz 1109.54 jednostek środka wymiany.

3.7 Moduł raportowo-analityczny

Moduł ten składa się z szeregu funkcji napisanych w języku R, które na podstawie archiwum utworzonego w trakcie po przeprowadzeniu symulacji, pozwalają na:

- ekstrakcje ustandaryzowanych ramek danych
- wizualizacji stanu agentów w czasie trwania symulacji, tj. ich liczby jednostek produktu oraz środka wymiany
- wizualizacji przebiegu ceny produktu w ramach ofert sprzedaży i kupna.

Przykładowy przebieg utworzony na podstawie archiwum symulacji znajduje się na rysunku (9).



Rysunek 9: Przebieg liczby posiadanych jednostek produktu oraz środków wymiany przez agenta.

4 Eksperymenty

W ramach zaprezentowania możliwości zaprojektowanego i zaimplementowanego systemu w ramach projektu przeprowadzono dwa eksperymenty:

- generacja monopolu, tj. eksperyment mający na celu zbadanie wpływu kosztu produkcji na możliwość utworzenia się monopolu na rynku dóbr konsumpcyjnych
- działanie sieci wielkoskalowej, tj. eksperyment, w którym sprawdzano jak działa system w obliczu przeprowadzania symulacji dla wielu agentów oraz reakcje systemu na wyłączenie jednego z agentów.

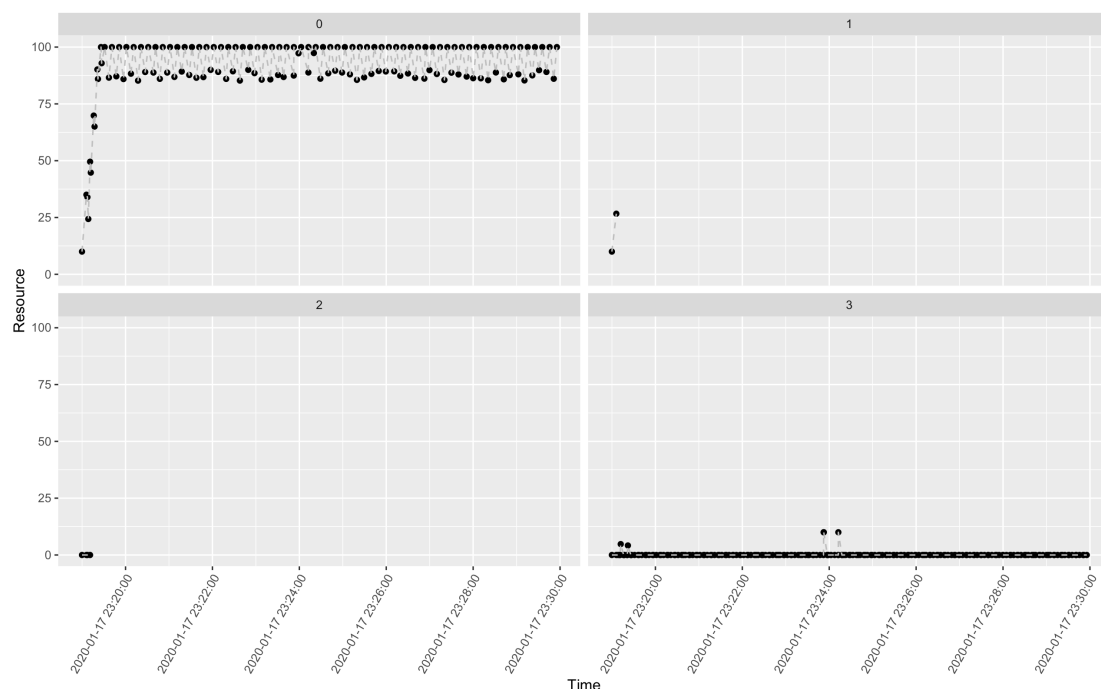
Ze względu na konieczną wiedzę ekspercką zakresu funkcjonowania rynków dóbr konsumpcyjnych i zachowań realnych agentów w tym środowisku – poniższe eksperymenty mają jedynie charakter demonstracyjny.

4.1 Generacja monopolu

W celu zbadania zjawiska generacji monopolu na rynku dóbr konsumpcyjnych wykorzystano konfigurację agentów, w której wyróżniono łącznie 4 agentów z czego dwóch sprzedających dobra oraz dwóch wyłącznie kupujących je. Jeden z agentów sprzedających dobra (agent o numerze ID 0) posiadał ponadto bliska zera koszt produkcji, co było – uproszczonym – warunkiem powstania monopolu.

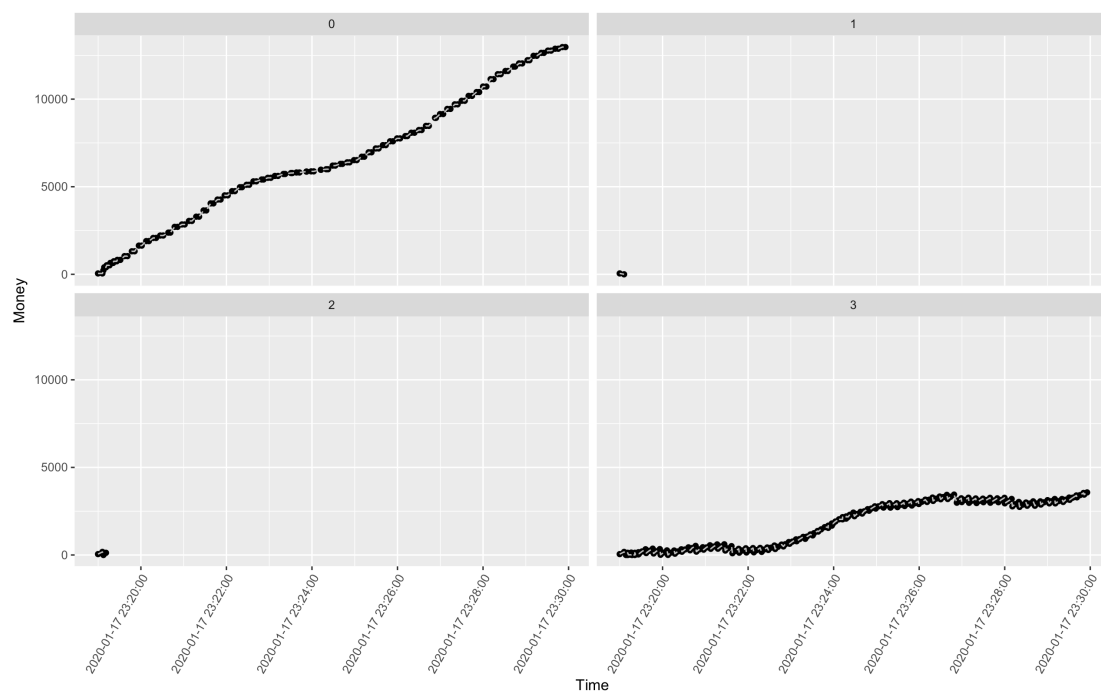
Sieć połączeń między agentami stanowiła graf pełny. Rysunek przedstawia (10) przedstawia stan posiadania jednostek produktów, które przypadły na agenta. Na jego podstawie można zauważyć, że negocjacje handlowe przebiegały głównie między agentem o numerze ID równym 0 oraz agentem o numerze ID równym 3. Brak chęci udziału uczestniczenia w sesji handlowej

pozostałych agentów wynikał z ustawienia parametrów ich polityk decyzyjnych oraz parametrów początkowych przy czym brak zaznaczonego przebiegu dla agentów o ID 1 oraz 2 oznacza samoistne wyłączenie się z sesji.



Rysunek 10: Przebieg liczby posiadanych jednostek produktu przez agentów. Brak zaznaczonego przebiegu dla agentów o ID 1 oraz 2 oznacza samoistne wyłączenie się z sesji.

Dominująca pozycja na rynku podmiotu o ID równym 0 ukazała się również w fakcie posiadanych przez niego jednostek środka wymiany, co obrazuje rysunek (11)

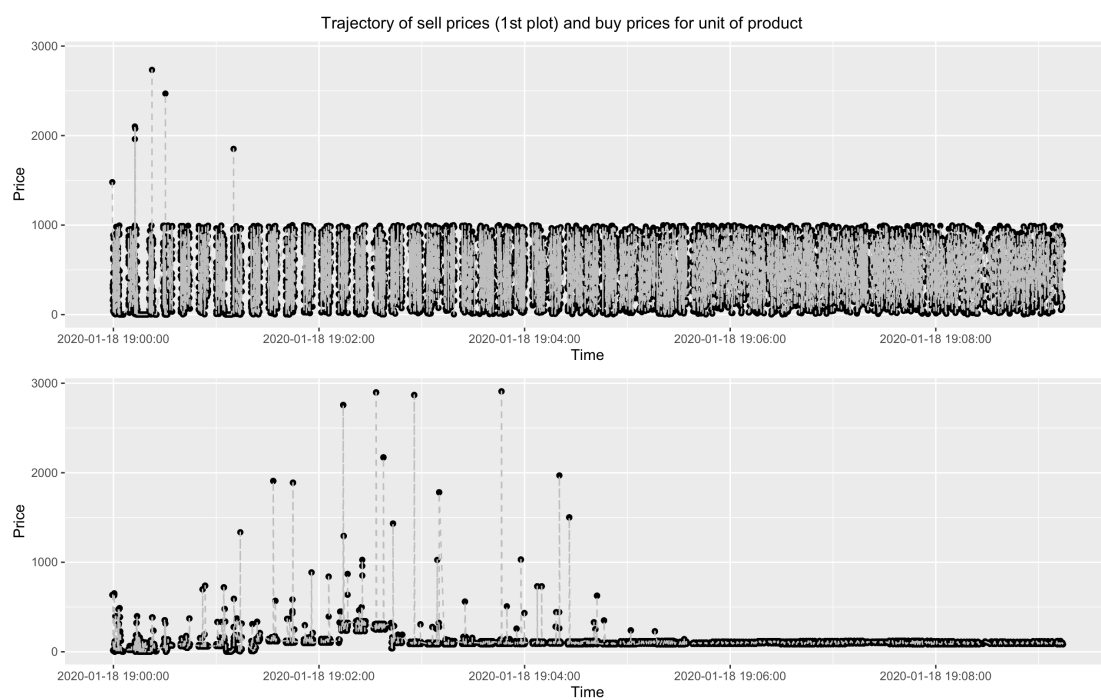


Rysunek 11: Przebieg liczby posiadanych środków wymiany przez agentów

4.2 Działanie sieci wielkoskalowej

W ramach eksperymentów na systemie sprawdzono również w jaki sposób działa on, gdy liczba agentów jest duża – w przypadku przyjętej konfiguracji było to dziewięciu agentów. Sieć połączeń między nimi jest tożsama z siecią połączeń przedstawioną na rysunku (8).

Rysunek (12) przedstawia zmianę cen produktu w ramach ofert sprzedaży oraz kupna. Ze względu na dużą liczbę agentów, a tym samym bardzo dużą liczbę zdarzeń na rynku cena podlegała częstym zmianom, co zauważalne jest po zagęszczeniu punktów na obu wykresach.



Rysunek 12: Przebieg liczby posiadanych środków wymiany przez agentów