

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Центр післядипломної освіти _____
(повна назва)

Кафедра _____ Програмної інженерії _____
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

_____ другий (магістерський) _____
(рівень вищої освіти)

Дослідження алгоритмів моделювання колективної поведінки
інтелектуальних агентів

(тема)

Виконав: студент 2 курсу, групи ППЗмзд-18-1
спеціальності 121- Інженерія програмного
забезпечення _____

(код і повна назва спеціальності)

освітньо-наукової програми Інженерія
програмного забезпечення _____

(повна назва освітньої програми)

_____ Вишньов С.О. _____

(прізвище, ініціали)

Керівник _____ проф. Шостак І.В. _____
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри, проф. _____

З.В.Дудар

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Центр післядипломної освіти

Кафедра програмної інженерії

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 121 – Інженерія програмного забезпечення

(код і повна назва)

Освітньо-наукова програма Інженерія програмного забезпечення

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові Вишньову Сергію Олексійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження алгоритмів моделювання колективної поведінки інтелектуальних агентів

затверджена наказом по університету від « _____ » _____ 2020 р № _____

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії «21» травня 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи Алгоритми функціонування штучних агентів, методи взаємодії інтелектуальних агентів, методи стримінгу великих даних та пояснювальна записка. Використовувати ОС Windows, середовище об'єктно-орієнтованого проектування.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі мета роботи, аналіз проблемної галузі і постановка задачі, методи пошуку корисних даних, опис об'єктних моделей, використовувані методи та алгоритми, архітектура програмної системи, опис розробленої програмної системи, результати тестування програмної системи

5. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Спецчастина	проф. Шостак І.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз предметної галузі	25 березня 2020 р.	
2.	Огляд існуючих методів	31 березня 2020 р.	
3.	Методи кооперації штучних агентів	15 квітня 2020 р.	
4.	Підготовка пояснювальної записки	20 квітня 2020 р.	
5.	Спецчастина	28 квітня 2020 р.	
6.	Підготовка презентації та доповіді	03 травня 2020 р.	
7.	Попередній захист	15 травня 2020 р.	
8.	Нормоконтроль, рецензування	17 травня 2020 р.	
9.	Занесення диплома в електронний архів	18 травня 2020 р.	
10.	Допуск до захисту у зав. кафедри	20 травня 2020 р.	

Дата видачі завдання _ « ____ » _____ 2020 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. Шостак І.В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ / ABSTRACT

Пояснювальна записка до атестаційної роботи: 108 с., 4 табл., 43 рис., 3 дод., 28 джерел.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ АГЕНТИ, ПОВЕДІНКОВІ ОЗНАКИ, АДАПТИВНІ НЕЧІТКИ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ.

Об'єктом дослідження є процеси й методи моделювання поведінки інтелектуальних агентів.

Метою атестаційної роботи є дослідження методів і алгоритмів моделювання індивідуальної й колективної поведінки інтелектуальних агентів на основі адаптивних нечітких ситуаційних мереж та комп'ютерного моделювання розроблених алгоритмів.

В результаті розроблена сукупність способів для побудови АНСМ і реалізації методів моделювання індивідуальної й колективної поведінки штучних агентів на їхній основі.

INTELLECTUAL AGENTS, BEHAVIORAL CHARACTERISTICS, ADAPTIVE FRUITS NEURAL NETWORKS.

The object of study is the processes and methods of modelling the behaviour of intellectual agents.

The purpose of research practice is to study methods and algorithms for modelling individual and collective behaviour of intellectual agents based on adaptive fuzzy situational networks and computer simulation of the developed algorithms.

As a result, a set of methods for constructing the ANSM and implementing methods of modelling the individual and collective behaviour of artificial agents based on them are developed.

ЗМІСТ

Вступ	6
1 Аналіз методів взаємодії інтелектуальних штучних агентів	8
1.1 Аналіз типів взаємодії інтелектуальних агентів	8
1.2 Аналіз методів моделювання поведінки інтелектуальних агентів	14
1.3 Аналіз нечітких ситуаційних мереж	21
1.4 Постановка завдання дослідження	26
2 Аналіз методів моделювання поведінки інтелектуальних агентів.....	29
2.1 Адаптивні нечіткі ситуаційні мережі й способи їх побудови	29
2.2 Методи розрахунку нечітких множин	32
2.3 Аналіз відношень впливу нечітких ознак	37
2.4 Алгоритми побудови маршрутів	39
3 Аналіз результатів досліджень.....	41
3.1 Алгоритм зворотної побудови адаптивних нечітких ситуаційних мереж	41
3.2 Алгоритм моделювання індивідуальної поведінки агентів	44
3.3 Метод моделювання основі адаптивних нечітких ситуаційних мереж ...	50
4 Опис розробленої програмної системи	61
4.1 Структура програмних засобів моделювання	61
4.2 Опис реалізації алгоритмів	65
4.3 Реалізація алгоритм моделювання індивідуальної поведінки	68
4.4 Реалізація динаміки поведінки агентів	72
4.5 Розробка інтерфейсу програмного засобу	74
5 Опис можливості використання отриманих результатів.....	78
5.1 Приклад моделі поведінки інтелектуальних агентів	78
5.2 Аналіз прикладу співпраці штучних агентів	79
Висновки	82
Перелік джерел посилання	84
Додаток А Програмний код	87
Додаток Б Слайди презентації	92
Додаток В Апробація результатів роботи.....	107

ВСТУП

Одним з напрямків досліджень, що активно розвиваються, пов'язаних з розширенням інтелектуальних можливостей сучасних інформаційних систем і технологій, заснованих на мультиагентному підході, є створення методів і засобів аналізу взаємодії й моделювання поведінки інтелектуальних агентів.

Завдання аналізу взаємодії й моделювання ситуативної поведінки інтелектуальних агентів характеризуються наступними особливостями:

- необхідність моделювання як індивідуальної, так і колективної поведінки агентів у процесі їх взаємодії;
- необхідність обліку оперативної зміни цілей і завдань окремих агентів і колективів при їхній динамічній взаємодії;
- необхідність оцінки, аналізу й обліку наслідків індивідуальних і колективних дій агентів;
- високі вимоги до якості дій окремих агентів і їх колективів;
- складність типізації всіх ситуацій взаємодії агентів у рамках єдиного підходу до моделювання їх поведінки;
- наявність складних взаємозалежностей між ознаками, котрі характеризуються взаємодією й поведінкою агентів;
- можливість побудови моделей ситуативної поведінки агентів, а не моделей самих агентів, системи й зовнішнього середовища;
- необхідність обліку як стохастичної, так і не стохастичної невизначеності при описі й застосуванні моделей поведінки агентів;
- спільний облік різних типів взаємодії при моделюванні поведінки агентів, а також можливі механізми розподілу й вирішення завдань, ролі й ступеня відповідальності;
- поведінка агентів повинна ґрунтуватися на різних стратегіях досягнення цільових ситуацій.

Зазначені особливості дозволяють обґрунтувати доцільність застосування для рішення цих завдань нечіткого ситуаційного підходу, який передбачає побудову й використання нечітких ситуаційних моделей для аналізу взаємодії й моделювання поведінки інтелектуальних агентів. Теоретичні аспекти представлення й обробки ситуаційних знань відбиті в роботах [1]-[2]. Нечіткі ситуаційні моделі (мережі) і засновані на них методи описані в [3]-[4]. Разом з тим, запропоновані в цих джерелах моделі й методи не орієнтовані на виконання завдань аналізу взаємодії й моделювання ситуативної поведінки інтелектуальних агентів, у тому числі, і по наступних причинах:

- відсутність механізмів якісної й оперативної адаптації таких моделей до виникаючої в процесі використання нової інформації про взаємодіючих агентів, їх завданнях і навколишньому середовищу;
- складність типізації обліку взаємозалежностей нечітких ситуаційних ознак, що може приводити до некоректного аналізу взаємодії й моделювання поведінки агентів;
- складність спільного обліку різних типів взаємодії при моделюванні індивідуальної й колективної поведінки агентів у рамках єдиної моделі, можливих механізмів розподілу й вирішення задач, ролей і ступенів відповідальності.

Таким чином, завдання розробки й дослідження методів і алгоритмів моделювання індивідуальної й колективної поведінки інтелектуальних агентів на основі нечітких ситуаційних мереж, що мають розширені можливості по адаптації до мінливих умов ситуаційних ознак, є актуальною й практично значимою.

.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВЗАЄМОДІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ШТУЧНИХ АГЕНТІВ

1.1 Аналіз типів взаємодії інтелектуальних агентів

Одним з основних напрямків досліджень, заснованих на мультиагентному підході, є моделювання поведінки агентів у розподілених інтелектуальних системах, децентралізованих інтелектуальних системах в рамках так званого «штучного життя» [3].

В розподілених інтелектуальних системах виконується декомпозиція загального завдання на окремі підзадачі, які розподіляються між агентами відповідно до їхньої ролі, ступеня відповідальності й досвіду. Окремі агенти мають лише часткову уяву про спільне завдання, а їх колективна поведінка реалізується на основі їх індивідуальної поведінки. При цьому проводиться узгодження цілей і стратегій окремих агентів, координація їхніх дій, а також вирішення можливих конфліктів.

Для розподілених інтелектуальних систем, крім завдань аналізу й моделювання поведінки агентів (незалежно від їхньої поведінки: нормативного, ситуаційного, рефлексивного), вирішуються завдання організації цих систем (на основі методів теорії систем і організацій, структурно-функціонального й еволюційного підходів) і побудови протоколів комунікацій між агентами.

У децентралізованих інтелектуальних системах розподіл і призначення завдань агентам реалізується в процесі їх взаємодії, а керування поведінкою здійснюється за рахунок локальних комунікацій між агентами [4].

При аналізі й моделюванні «штучному життю» (колективного інтелекту) колективна поведінка трактується з погляду локальних взаємодій великою кількістю агентів з обліком їх адаптації й самоорганізації в динамічній, найчастіше ворожому середовищі [5]. При цьому, по-перше, агенти самостійно формують свої дії залежно від подій і комунікацій з іншими агентами, по-друге, відсутні агенти, керуючі іншими агентами й взаємодіями між ними, по-третє,

відсутні загальні правила, що обумовлюють погоджену поведінку агентів, а їх колективна поведінка породжується лише локальними взаємодіями.

Під агентами розуміються активні, як правило, взаємодіючі між собою об'єкти, що маніпулюють пасивними об'єктами в деякому навколишньому середовищі відповідно до їхніх завдань, функцій і ролей, на підставі дій або комунікативних актів [6].

Існують різні класифікації агентів. Узагальнена класифікація агентів може бути представлена у відповідності з наступними класифікаційними ознаками:

За ознакою «природні – штучні»:

- природні агенти (людина, тварина, колективи людей);
- штучні агенти (роботи, складні комп'ютерні програми, колективи автоматів).

За ознакою «матеріальні – віртуальні»:

- матеріальні агенти, що фізично існують і функціонують;
- віртуальні агенти, що функціонують у деякому віртуальному просторі (у програмному середовищі).

По рухливості:

- нерухливі агенти;
- мобільні агенти.

За ознакою «зосереджені – розподілені»:

- розподілені агенти;
- локалізовані агенти.

По навченості:

- такі, яких навчають – агенти, поведінка яких враховує попередній досвід;
- ненавчальні агенти.

За ступенем можливостей представлення навколишнього середовища й засобам поведінки:

- реактивні агенти, що не мають розвиненого представлення про навколишнє середовище, механізму багатоетапних міркувань, достатніх ресурсів;

– інтелектуальні агенти, що володіють розвиненою й поповнюваною моделлю навколишнього середовища, що досягається завдяки наявності бази знань, механізмам прийняття рішень і аналізу дій. Інтелектуальні агенти реалізують наступні функції: когнітивні, що міркує (у більш загальному контексті, регулятивну), комунікативну й ресурсну.

Реактивні агенти, у свою чергу, поділяються на:

- імпульсивні агенти, що мають найпростіший механізм мотивації, спрямований на їхнє виживання;
- агенти, що не мають власних мотивів, і поведінка яких визначається простими ситуативними зв'язками й зводиться лише до відповідей на стимули, що надходять із навколишнього середовища.

Досить проста структура реактивних агентів обумовлює їх тісну залежність від середовища. Однак з них легше організувати колектив, здатний гнучко адаптуватися до змін середовища. Причому їх можливості до адаптації й розвитку реалізуються в результаті локальних взаємодій. Причому, за рахунок великого їхнього числа взаємодіючих реактивних агентів можна вирішувати складні завдання.

Реактивні агенти практично не здатні планувати свої дії. При цьому вони мають сильну залежність від інших агентів і умов навколишнього середовища.

Інтелектуальні агенти по типу поведінки діляться на:

- інтенціональні агенти, наділені механізмами мотивації з моделюванням внутрішніх переконань, бажань, намірів і мотивів, породжуючих цілі й дії;
- рефлекторні агенти, що не мають внутрішніх джерел мотивації й власних цілей, з поведінкою у вигляді одноетапних висновків або «автоматизмів» – вони здатні відповідати на запитання й виконувати завдання, які перед ними ставлять інші агенти.

Когнітивні функції інтелектуальних агентів припускають наявність розвиненої й поповнюваної моделі навколишнього середовища у вигляді бази знань, а також механізмів аналізу дій. здатності, що міркують, інтелектуальних агентів дозволяють на основі моделі навколишнього середовища реалізовувати

власні міркування й виконувати дії. Комунікативні можливості інтелектуальних агентів забезпечують взаємодію з іншими агентами. Ресурсні властивості інтелектуальних агентів припускають наявність розвинених можливостей по обміну, перерозподілу й доцільному використанню ресурсів, залежно від специфіки поведінки. Ступінь інтелектуальності агентів залежить від набору і якості реалізації цих функцій.

Інтелектуальні агенти можуть запам'ятовувати й аналізувати різні ситуації, виробляти й ухвалювати рішення, передбачити результати цих дій і можливі реакції на них, планувати свою поведінку. Будучи значно автономніше реактивних, інтелектуальні агенти характеризуються доцільною й гнучкою поведінкою в колективі, а також розвиненими можностями обміну й перерозподілу ресурсів між різними агентами для досягнення індивідуальних і колективних цілей. Однак ці можності приводять до складності організації їх ефективної взаємодії й колективної поведінки.

Результати порівняльної характеристики властивостей реактивних і інтелектуальних агентів представлено в табл. 1.1 [9].

Самі інтелектуальні агенти можуть бути класифіковані по характеру відносин до себе й інших агентів на: добромисні, егоїстичні, зловмисні, альтруїстичні, байдужні, цинічні, самовіддані, саморуйнівні, «камікадзе». У табл. 1.2 наведена характеристика таких агентів.

Незалежно від типу інтелектуальної системи, реалізованої на основі мультиагентного підходу, ступені інтелектуальності агентів, їх архітектури, можна виділити три основні види взаємодії агентів: незалежність (відсутність взаємодії між агентами); суперництво (конкуренція); кооперація (співробітництво). При цьому для кожного виду взаємодії інтелектуальних агентів можуть бути визначені типові ситуації взаємодії агентів залежно від сумісності їх цілей, наявності розподілених ресурсів і потреби в досвіді. Ці типові ситуації взаємодії інтелектуальних агентів представлено в таблиці 1.3 [9].

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика основних властивостей реактивних й інтелектуальних агентів

Властивості	Реактивні агенти	Інтелектуальні агенти
Внутрішня модель навколишнього середовища	Примітивна	Розвинена
Міркування	Прості однокрокові	Складні й рефлексивні
Мотивація	Найпростіші реакції	Розвинена система мотивації
Пам'ять	Немає	Є
Реакція	Швидка	Повільна
Адаптивність	Висока	Відносно невисока
Модульність організації	Немає	Є

Таблиця 1.2 – Класифікація агентів стосовно себе й іншим агентам

Тип агента	Відношення агента	
	до себе	до інших агентів
Добромисний	+	+
Егоїстичний	+	0
Зловмисний	+	–
Альтруїстичний	0	+
Байдужний	0	0
Цинічний	0	–
Самовідданий	–	+
Саморуйнівний	–	0
Камікадзе	–	–

«+» – хороше відношення; «–» – погане відношення; «0» – байдуже відношення.

Координоване співробітництво означає, що для ефективного використання досвіду й ресурсів агенти повинні погодити свої дії, наприклад, за допомогою агента-координатора. Ця ситуація взаємодії є найбільш складно реалізованою, тому що вимагає, крім декомпозиції завдань, координації дій агентів внаслідок обмеженості їх ресурсів [7].

Просте співробітництво має на увазі розподіл завдань і обмін досвідом між агентами без додаткових заходів щодо узгодження дій агентів.

Таблиця 1.3 – Типові ситуації взаємодії агентів

№ п/п	Типова ситуація взаємодії	Сумісність цілей	Потреба у досвіді	Наявність розпо- ділених ресурсів
1	Координоване співробітництво	+	+	+
2	Просте співробітництво	+	+	–
3	Непродуктивне співробітництво	+	–	+
4	Незалежність	+	–	–
5	Колективне суперництво за ресурси	–	+	+
6	Чисте колективне (командне) суперництво	–	+	–
7	Індивідуальне суперництво за ресурси	–	–	+
8	Чисте індивідуальне суперництво	–	–	–

Непродуктивне співробітництво являє собою ситуацію взаємодії агентів, коли їм не потрібен обмін досвідом при спільному й безконфліктному використанні ресурсів.

Незалежність агентів характеризує їх повну автономність.

Чисте індивідуальне суперництво характеризується тим, що агенти поставлені в однакові умови, а доступ до ресурсів не є можливою причиною конфліктів. Причому, при несумісності цілей агенти змушені взаємодіяти один з одним.

Індивідуальне суперництво за ресурси являє собою тип конфліктної ситуації, у якій кожний агент має намір захопити спільні ресурси.

Чисте колективне (командне) суперництво відповідає ситуації при якій агенти мають різні індивідуальні цілі, однак, досвід агентів недостатній для

їхнього досягнення. Це приводить до об'єднання агентів у коаліції, між якими виникає суперництво.

Колективне суперництво за ресурси являє собою комбінацію ситуацій чистого колективного суперництва й індивідуального суперництва за ресурси, і, з погляду мультиагентного підходу, є найбільш доцільним варіантом поведінки колективу агентів, що приводить до конкуренції їх груп за умови ліквідації монополій.

Таким чином, незалежно від різновиду мультиагентної інтелектуальної системи, властивостей і моделей інтелектуальних агентів, типів і ситуацій їх взаємодії, завдання моделювання поведінки цих агентів є однією з найважливіших і визначальних якостей і оперативності рішення завдань як самими агентами, так і системою в цілому.

1.2 Аналіз методів моделювання поведінки інтелектуальних агентів

Завдання досліджень в області інтелектуальних систем, заснованих на мультиагентному підході, умовно можна розділити на наступні групи:

- формалізоване представлення й розробка моделей агентів, заснованих на них мультиагентних систем і процесів, а також навколишнього середовища;
- створення методів декомпозиції й розподілу завдань між агентами;
- розробка методів і протоколів взаємодії (комунікації) між агентами;
- розробка методів оцінки й формування дій агентів;
- моделювання індивідуальної й колективної поведінки агентів в навколишньому середовищі.

Найбільш актуальними з перерахованих є завдання моделювання поведінки інтелектуальних агентів. Розглянуто особливості завдань моделювання поведінки інтелектуальних агентів, використавши трьох-рівневу семантичну модель «діяльність–дія–операція» ([8]), що відбиває на кожному рівні як зв'язки між

регулятивними (поведінковими) і морфологічними компонентами поведінки агентів, так і зв'язки між базовими функціями поведінки. У загальному випадку можна представити:

Діяльність = *F* (середовище, потреби, мотивація, планування, знання);

Дія = *G* (діяльність, об'єкти, цілі, стратегії, уміння);

Операція = *H* (дія, умови, завдання, тактики, навички),

де *F*, *G* і *H* – відносини « один до багатьох ».

У цій моделі проілюстровано внутрішні механізми поведінки агента щодо представлення зовнішнього середовища й досвіду, зовнішньої регуляції й саморегуляції. Моделювання поведінки агентів може проводитися як для «вертикальних» відносин «мотиви–мети–завдання», «плани–стратегії–реакції», так і для «горизонтальних» відносин «потреби–мотиви–плани–знання», «об'єкти–мети–стратегії–уміння», «умови–завдання–тактики–навички».

Відповідно, і саме поняття агента можна визначити підмножиною із зазначеного набору характеристик поведінки. Для реактивних агентів можна обмежитися моделюванням характеристик поведінки нижнього рівня та їх зв'язків з характеристиками середнього рівня. Для інтелектуальних же агентів у загальному випадку необхідно моделювати відносини між характеристиками верхнього рівня та їх зв'язку з характеристиками середнього рівня. Так на верхньому рівні інтерпретовані інтелектуальними агентами потреби формують сферу мотивації, а побудова планів реалізації мотивів вимагає поповнення знань або перегляду переконань агента.

Незважаючи на відмінності в ступені інтелектуальності агентів, завдання моделювання поведінки агентів, як правило, зводяться до ситуативного формування стратегії (алгоритму) поведінки, тобто послідовності дій, що дозволяє з поточної ситуації (стану агента) досягти поставленої мети (цільової ситуації).

Виходячи із цього, до основних завдань моделювання ситуативної поведінки інтелектуальних агентів ставляться наступні:

- ідентифікація поточного стану агента, станів взаємодіючих з ним агентів і навколишнього середовища;
- формування дій (керуючих рішень) і послідовностей дій залежно від виду й ситуації(й) взаємодії агентів і стратегій поведінки;
- адаптація поведінки агентів до змін умов взаємодії з
- іншими агентами й навколишнього середовища з урахуванням цілей, ролей, ступені відповідальності й ресурсів.

Проведено аналіз методів рішення цих завдань моделювання ситуативної поведінки інтелектуальних агентів, заснованих на моделюванні або побудові стратегії поведінки агента.

Моделювання ситуативної поведінки інтелектуальних агентів на основі продукційних моделей відноситься до найпоширеніших методів. Такі моделі задаються наборами продукційних правил виду: «**Якщо** Умови, **То** Дії» [9]. Особливостями моделювання ситуативної поведінки агентів на основі таких моделей є те, що сприймана агентом інформація про навколишнє середовище й взаємодіючих агентів надходять до бази продукційних правил, по результату висновку на яких (у відповідності з сформованими цілями й ситуативними оцінками) задаються окремі дії й стратегії поведінки агентів [8].

Використання ж нечіткого підходу при побудові продукційних моделей і заснованих на них методів моделювання ситуативної поведінки агентів дозволяє забезпечити: можливість використання різноякісних, у тому числі експертних даних, а також представлених за допомогою різноманітних шкал; простоту подання знань, у тому числі експертних; чітке й нечітке лінгвістичне завдання параметрів; можливість лінгвістичної інтерпретації результатів; можливість подання неточності й невизначеності даних; можливість подання й моделювання нелінійності; використання в реальному масштабі часу. До обмежень даних моделей і методів відносяться: складність експертного формування бази правил; складність перевірки на повноту й несуперечність бази правил; складність структурної й параметричної оптимізації бази правил; відсутність можливості автоматичного придбання знань [9].

Нейромережеві моделі, побудовані за принципом організації й функціонування біологічних нейронних мереж, являють собою сукупність нейроподібних елементів, певним чином з'єднаних один з одним та із зовнішнім середовищем за допомогою зв'язків, що задаються ваговими коефіцієнтами [6, 7]. Основні переваги нейромережевих моделей і заснованих на них методів при моделюванні ситуативної поведінки інтелектуальних агентів полягають в: можливості виявлення закономірностей у даних, їхньому узагальненні; можливості подання й моделювання нелінійності; типовому підході до рішення різних завдань, у тому числі, до моделювання поведінки агентів; здатності до адаптації й навчання; можливості подання неточності й невизначеності даних; можливості моделювання по-ведіння агентів у реальному масштабі часу. До обмежень нейромережевих моделей і методів відносяться: складність пояснення результатів моделювання поведінки; велика кількість циклів навчання; складність і евристичність формування топології й параметрів нейромережевої моделі, адекватної задачі моделювання поведінки; складність формування представницької й несуперечливої навчальної вибірки [10].

Слід також виділити: по-перше, нейронні нечіткі мережі, у яких на основі положення теорії нечітких множин здійснюється включення нечіткості в різні компоненти нейронних мереж (елементи структури й механізмів навчання й функціонування); по-друге, гібридні нечітко-нейронні мережі, у яких реалізується інтеграція нечітких і нейромережевих моделей у єдину модель на рівні розв'язуваних завдань; по-третє, нечіткі нейронні продукційні мережі, у яких нейромережева технологія використовується в якості інструмента для реалізації компонентів нечітких продукційних моделей. Для даних моделей при рішенні завдань моделювання поведінки інтелектуальних агентів необхідна підготовка навчальних і тестових вибірок, що суттєво ускладнює їхнє рішення. Для кожного завдання необхідно здійснювати проектування мережної структури моделі, навчання, тестування. Після навчання дані моделі будуть давати точні результати, але вони будуть орієнтовані тільки на рішення вузького класу завдань [11]- [12].

Моделювання ситуативної поведінки інтелектуальних агентів на основі еволюційного підходу характеризується використанням механізму «винагороди» прийнятих правил поведінки агентів, що приводять до ефективних результатів, і механізму генерації нових правил на основі генетичних алгоритмів при необхідності адаптації поведінки агентів до змінюваних умов. Отримані в такий спосіб правила поведінки потім можуть бути використані в моделі, що описує поведінку агента. До переваг моделювання поведінки інтелектуальних агентів на основі генетичних алгоритмів слід віднести наступне: швидка збіжність при рішенні оптимізаційних завдань; некритичність до виду параметрів; можливість використання експертних, емпіричних, неточних і невизначених даних; можливість подання й моделювання нелінійності; можливість швидкого коректування результатів; гарні адаптаційні властивості. Обмеження: можливості неоднозначного результату при генерації нових альтернатив; залежність якості результату від способу реалізації генетичних операторів і стратегії пошуку; недостатня точність результатів; відсутність можливості використання в реальному масштабі часу [13].

Методи теорії прийняття рішень дозволяють вирішувати як однокритеріальні, так і багатокритеріальні завдання при ідентифікації й виборі дій інтелектуальних агентів у процесі моделювання їх поведінки. До цих методів можна віднести метод аналізу ієрархій, схеми компромісів, метод «Electre» та інші [13]-[14]. Але з ускладненням завдань, зі збільшенням числа критеріїв і альтернатив, здійснити вибір найкращого варіанта досить складно через значний обсяг обчислень. Крім того, дані методи орієнтовані, в основному, на оцінку й вибір альтернатив, але не на формування стратегій поведінки.

Міркування на основі прецедентів – метод, що дозволяє вирішувати задачі на основі адаптації відомих рішень [3]. Цей метод використовується для автоматичного планування в різних предметних областях. Його ідея полягає у тому, що складається база прецедентів (раніше отриманих рішень). При рішенні невідомого завдання здійснюється пошук рішення подібної задачі по цій базі, після чого виконується адаптація знайденого рішення до нових умов. А

модифікація знайденого прецеденту виявляється простіше, чим рішення завдання «з нуля». Основною проблемою цього методу є необхідність створення великої бази прецедентів. Даний метод може бути використаний для моделювання поведінки інтелектуальних агентів з ієрархією на основі прецедентів або ієрархічною базою знань.

Моделювання ситуативної поведінки інтелектуальних агентів можливо здійснити на основі формалізмів теорії колективної поведінки автоматів, які структурно являє собою орієнтовані графи, вузлами яких є їхні стани, а дуги характеризують можливі переходи зі стану в стан. У ряді робіт обґрунтована доцільність використання для рішення цих завдань різних різновидів нечітких автоматів, що відрізняються компонентами, у які введена нечіткість, а саме нечіткі автоматні моделі: з нечіткими входами; з нечіткими станами; з нечіткими переходами; одночасно з нечіткими входами, станами й/або переходами [15].

Ще одним ефективним засобом моделювання ситуативної поведінки інтелектуальних агентів є мережі Петрі [16], що дозволяють адекватно представити й проаналізувати логіко-тимчасові особливості процесів поведінки агентів. Увівши нечіткість в опис окремих компонентів мереж Петрі, можна розширити їхні можливості для рішення зазначених завдань. Можуть бути виділені наступні різновиди тимчасових мереж Петрі з нечіткістю завдання: структури; початкового маркування; часів затримки маркерів у позиціях і часів спрацьовування активних переходів; правил, що визначають процес функціонування мережі.

Нечіткі когнітивні карти [17]-[18] різного типу також можуть використовуватися для аналізу взаємодій між агентами. Ці моделі представляють агентів і взаємодії між ними у вигляді множини концептів і відносин впливу. До основних типам нечітких когнітивних карт слід віднести:

- нечіткі когнітивні карти Б. Коско і їх модифікації, механізм взаємовпливу між концептами в яких реалізований за аналогією з нейроподібними елементами [18];

- нечіткі когнітивні карти В. Сілова, для яких за рахунок реалізації так званої «каузальної» алгебри й системних показників забезпечуються розширені можливості аналізу взаємодії агентів [19];

- нечіткі продукційні когнітивні карти (Rules Based Fuzzy Cognitive Maps), для опису впливів між концептами в яких використовуються нечіткі продукційні правила [20];

- узагальнені нечіткі продукційні когнітивні карти (Generalized Rule-Based Fuzzy Cognitive Maps), що узагальнюють властивості нечітких продукційних когнітивних карт і реалізують розширені можливості по аналізу й моделюванню взаємодії між агентами [21]- [22];

- нечіткі реляційні когнітивні карти (Relational Fuzzy Cognitive Maps), що забезпечують гнучкість аналізу взаємодії між агентами й моделювання їх поведінки за рахунок реляційного подання й обчислень нечітких співвідношень взаємовпливу [22].

В [23] для аналізу взаємодії й моделювання ситуативної поведінки агентів у нечітких когнітивних картах реалізовані процедури: опису станів концептів, що характеризують рівні ресурсів агентів; їхній взаємовплив один на одного для руху ресурсів; вибору стратегії агента (правил передачі ресурсів); опосередкованого впливу агентів один на одного; аналізу взаємодій агентів. У цих нечітких когнітивних картах для вибору стратегії поведінки агентів використовуються нечіткі ігрові моделі. У [24] запропоновано нечіткі коаліційні когнітивні карти, дозволяють аналізувати різні типи конфліктних взаємодій агентів (кооперація, компроміс, сприяння, конкуренція).

Нечіткі ситуаційні моделі являють собою нечіткі орієнтовані зважені графи переходів по нечітких еталонних (типовим) ситуаціям. Набір нечітких керуючих рішень, необхідних для висновку рішень по поточній ситуації, а також їх послідовність для досягнення цільової ситуації, визначаються стратегією керування – нечітким маршрутом у нечіткій ситуаційній мережі між поточної й цільової ситуаціями. Для побудови нечіткої ситуаційної мережі використовуються спеціальні нечіткі відношення, а також нечітка продукційна

модель типу «нечітка ситуація – нечітка дія», що визначає ступені відповідності керуючих рішень нечітким ситуаціям [19], [22].

Таким чином, існують різні методи й моделі для аналізу взаємодії й моделювання ситуативної поведінки інтелектуальних агентів. Однак більшість із них орієнтоване на аналіз окремих аспектів і на рішення окремих завдань. Разом з тим, як було раніше відзначено, незважаючи на відмінності в ступені інтелектуальності агентів, види й типові ситуації взаємодії, завдання моделювання ситуативної поведінки агентів, як правило, зводяться до планування дій (тобто їхньому вибору й організації), що дозволяють досягтися поставленої мети у вигляді пошуку шляху на мережі з поточної (ідентифікованої) ситуації в множину цільових ситуацій. Зазначені особливості є підставою для обґрунтування доцільності для рішення цих завдань нечіткого ситуаційного підходу, який передбачає побудову й використання нечітких ситуаційних моделей для аналізу взаємодії й моделювання ситуативної поведінки інтелектуальних агентів.

1.3 Аналіз нечітких ситуаційних мереж

Основною особливістю ситуаційного підходу є формування адекватних дій (рішень) залежно від поточної ситуації, тобто, дій, найкращих з точки зору наступних змін поточної ситуації й досягнення цільової ситуації в результаті застосування цих дій. З кожною ситуацією зіставляється множина можливих рішень [21].

Одним з напрямків використання ситуаційного підходу є створення мовних засобів опису ситуацій і відносин між об'єктами. Але для досить складних систем і процесів подібний опис є трудомістким і не завжди дає позитивний ефект [23].

Інша група методів, що базується на ситуаційному підході, що орієнтована на подання ситуацій у вигляді значень набору ознак.

Актуальною тенденцією є інтеграція принципів ситуаційного підходу із принципами побудови моделей інших класів. Прикладами такої інтеграції можуть служити різновиди моделей висновку на основі аналогій [23], а також семантичні ситуаційні й дискретні ситуаційні мережі.

Для рішення цілого ряду завдань затребуваним є реалізація ситуаційного підходу в комбінації з методами теорії нечітких множин, відносінь і нечіткої логіки, завдяки чому, наприклад, вдається обмеженим набором нечітких ситуацій описувати практично необмежене число й ситуацій, що характеризують стани агентів і навколишнього середовища. Поєднання ситуаційного й нечіткого підходів одержало назву «нечіткого ситуаційного підходу».

Можна відзначити ряд методів, які прямо або побічно використовують поняття й положення нечіткого ситуаційного підходу, а саме, методи нечіткого логічного висновку, нечіткої класифікації, багатокритеріальної оцінки й вибору альтернатив, аналізу ситуацій у вигляді графів.

Для нечітких продукційних моделей і методів логічного висновку на основі сукупності нечітких значень лінгвістичних (нечітких) змінних передумови, що задають, правил, визначають нечіткі ситуації, котрі ідентифікуються при завданих значеннях вхідних змінних. При виконанні методів нечіткої класифікації завдання віднесення поточних ситуацій до деякого класу відповідає окремому етапу ситуаційного керування. При використанні ж методів нечіткої багатокритеріальної оцінки й вибору альтернатив за результатами ідентифікації поточного стану агента при його зіставленні з типовими нечіткими ситуаціями, визначається оптимальне керуюче рішення.

Однак для моделювання поведінки інтелектуальних агентів потрібно не тільки ідентифікувати поточну ситуацію й відповідну їй множину дій, але й визначити можливі шляхи досягнення цільових ситуацій, включаючи оцінку наслідків відповідних послідовностей дій.

Нечіткий ситуаційний висновок типу «ситуація–дія» ґрунтується на встановленні відповідності кожної типової ситуації деякого керуючого рішення,

не орієнтований на визначенні послідовності дій, що приводять до цільової ситуації.

Нечіткий ситуаційний висновок типу «ситуація – стратегія керування – дія» заснований на побудові нечіткої ситуаційної мережі (НСС), вершини якої відповідають типовим станам агентів і навколишнього середовища, а дуги – керуючим рішенням, ваги яких характеризують їхню значимість. Послідовність же керуючих рішень дозволяє досягати цільової ситуації з поточної.

Основними поняттями нечіткого ситуаційного підходу є: нечітка ситуація й нечітке керуюче рішення (дія) [19].

Нехай $P = \{p_1, p_2, \dots, p_i\}$ – множина ознак, кожний з яких описується у вигляді:

$$p_i = \langle T_i, D_i \rangle, i \in \{1, 2, \dots, I\},$$

де $T_i = \{T_1^i, T_2^i, \dots, T_{m_i}^i\}$ – її терм-множина,

m_i – число значень ознаки p_i ;

D_i – базова множина ознаки p_i .

Для опису термів $T_j^i, j \in \{1, 2, \dots, J_i\}$ використовуються нечіткі змінні $\langle T_j^i, D_i, C_j^i \rangle$, тобто значення T_j^i задається нечіткою множиною C_j^i у базовій множині D_i : $C_j^i = \{(\mu_{C_j^i}(d)/d)\}, d \in D_i$.

Таким чином, нечіткою ситуацією називається нечітка множина 2-го рівня:

$$s = \{(\mu_s(p_i)/p_i)\}, p_i \in P,$$

де $\mu_s(p_i) = \{(\mu_{\mu_s(p_i)}(T_j^i)/T_j^i)\}, i \in \{1, 2, \dots, I\}, j \in \{1, 2, \dots, J_i\}$.

Зміна поточної нечіткої ситуації відбувається при застосуванні до неї одного з керуючих рішень

$$R = \{r_1, r_2, \dots, r_k\}$$

Кожне керуюче рішення представляється у вигляді:

$$r_k = \langle Lr_k, Tr_k, Dr_k \rangle, k \in \{1, 2, \dots, K\},$$

де $Lr_k = \{Lr_1^k, Lr_2^k, Lr_3^k\}$ – терм-множина напрямку управляючого рішення r_k .

Наприклад, $\{Lr_1^k - \text{«Збільшити»}, Lr_2^k - \text{«Зменшити»}, Lr_3^k - \text{«Не змінювати»}\}$; $Tr_k = \{Tr_1^k, Tr_2^k, \dots, Tr_{L_k}^k\}$ – терм-множина сили управляючого рішення r_k , наприклад $\{Tr_1^k - \text{«Дуже слабо»}, Tr_2^k - \text{«Слабо»}, \dots, Tr_{L_k}^k - \text{«Дуже сильно»}\}$; Dr_k – шкала сили управляючого рішення r_k , наприклад, $[-1, 1]$, де «-1» відповідає максимально можливому зменшенню значення ознаки, «1» – максимально можливому його збільшенню.

Для кожної ознаки будується набір нечітких матриць, що описують напрямки і силу впливу керуючих рішень. Також нечітка ситуаційна мережа характеризується множиною керуючих переходів $U = \{u_1, u_2, \dots, u_y\}$, кожному з яких зіставляється керуюче рішення й вага, що характеризує значимість відповідного рішення.

Застосування керуючого рішення до нечіткої ситуації зводиться до операції нечіткої композиції відповідного до цієї ситуації нечіткої множини 2-го рівня й нечіткого відношення, представленого нечіткою матрицею даного керуючого рішення.

На рис. 1.1 наведений приклад НСС. Тут S_i – нечіткі ситуації, r_k – керуючі рішення, w_l – ваги керуючих рішень, дуги мережі – керуючі переходи.

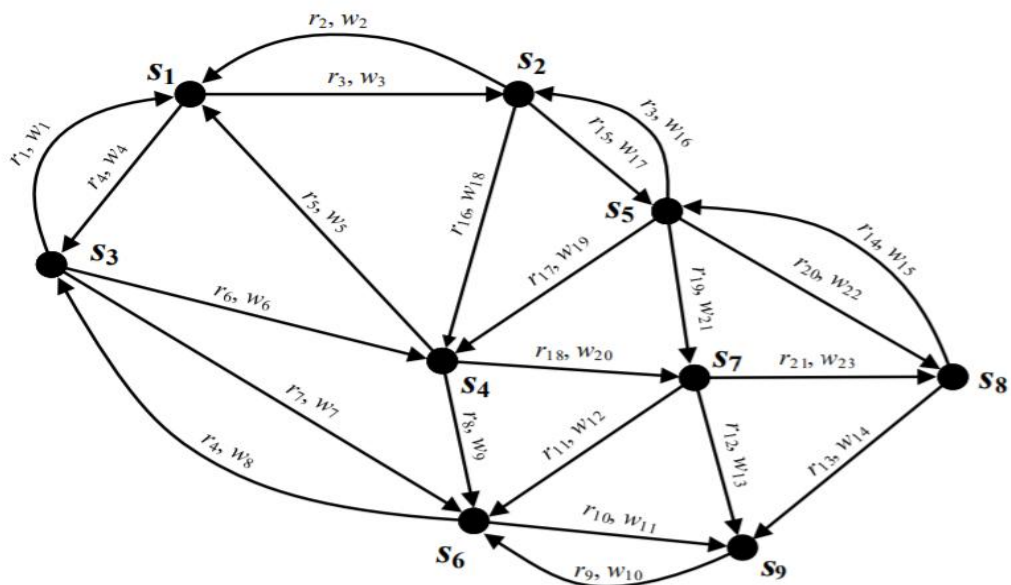


Рисунок 1.1 – Приклад структури нечіткої ситуаційної мережі

Нечітка ситуаційна мережа може бути побудована прямим або зворотним способом. При використанні прямого способу визначається деяка поточна ситуація, з якої в результаті застосування процедур формалізованого опису керуючих рішень формуються найближчі до неї ситуації – вершини мережі. Процес ітераційно повторюється для знову сформованих ситуацій. При застосуванні зворотного способу задається множина усіх типових ситуацій мережі, після чого визначаються рішення, що й управляють переходи між ними.

Використання на практиці способу завдання нечітких ситуацій у вигляді нечітких множин 2-го рівня важко й трудомістко, хоча в ряді випадків є єдино можливим. Однак запропоновані в [25] принципи побудови й використання нечітких ситуаційних мереж можуть бути використані й для інших способів представлення нечітких ситуацій (наприклад, відповідних передумовам нечітких продукційних правил).

У [26] запропоновані нечіткі ієрархічні ситуаційно-подійні мережі, що забезпечують: побудову багатовершинної ієрархії груп нечітких типових ситуацій, відповідно до різних груп ситуаційних ознак; облік стохастичної невизначеності результатів керуючих рішень за допомогою лінгвістичних лотерей, процедури коректного завдання яких дозволяють застосовувати положення теорії імовірності, розширені на множина нечітких імовірностей. Запропонований метод нечіткого висновку на основі таких ситуаційних мереж, що враховує оцінки станів, окремих керуючих рішень і всієї послідовності прийнятих рішень.

Незважаючи на те, що застосування розглянутих вище НСС і заснованих на них методів дозволяє вирішувати завдання визначення послідовності керуючих рішень, що призводить до необхідних цільових ситуацій, проте, існує ряд факторів, що обмежують їхнє застосування для моделювання поведінки агентів:

- складність внесення змін у НСС при додаванні або виключенні ситуацій і керуючих рішень, а також складність генерації додаткових «фрагментів» мережі за умови недосяжності цільової ситуації;

- недостатні можливості для обліку взаємозалежності нечітких ситуаційних ознак, що найчастіше приводить до некоректного аналізу взаємодії й моделюванню поведінки агентів;

- складність спільного обліку різних типів взаємодії при моделювання поведінки агентів, можливих механізмів розподілу й рішення завдань, ролей і ступенів відповідальності.

Зазначені фактори дозволяють обґрунтувати доцільність розробки нечітких ситуаційних моделей і заснованих на них методів і алгоритмів моделювання індивідуальної й колективної поведінки інтелектуальних агентів, що володіють розширеними можливостями по адаптації до умов, що змінюються, що враховують взаємозалежність нечітких ситуаційних ознак, різні типи взаємодії, механізми розподілу й рішення завдань, ролі й ступеня відповідальності.

1.4 Постановка завдання дослідження

Існуючі методи й моделі, у тому числі, засновані на нечіткому ситуаційному підході, у недостатньому ступені орієнтовані на виконання завдань аналізу взаємодії й моделювання ситуативної поведінки інтелектуальних агентів, у тому числі, і по наступних причинах:

- відсутні механізми якісної й оперативної адаптації таких моделей до виникаючої в процесі використання нової інформації про взаємодіючих агентів, їх завданнях і навколишньому середовищу;

- відсутні пророблені механізми обліку взаємозалежності нечітких ситуаційних ознак, що може приводити до некоректного аналізу взаємодії й моделювання поведінки агентів;

- складність спільного обліку різних типів взаємодії при моделюванні колективної поведінки агентів, можливих механізмів розподілу й рішення завдань, ролей і ступенів відповідальності.

Таким чином, здійснений аналіз методів рішення завдань моделювання ситуативної поведінки інтелектуальних агентів, включаючи нечіткі, нейромережеві й нейронечіткі методи й моделі, на основі еволюційного підходу, методи теорії прийняття рішень, методи на основі прецедентів, методи теорії колективної поведінки автоматів, мереж Петрі, нечітких когнітивних карт і їх комбінації з ігровими моделями. Зроблено висновок про доцільність використання для моделювання поведінки інтелектуальних агентів нечіткого ситуаційного підходу, що припускає побудову й використання нечітких ситуаційних моделей.

Проведений аналіз методів, що базуються на ситуаційному підході, а також існуючих нечітких ситуаційних мереж для моделювання поведінки інтелектуальних агентів визначив фактори, що обмежують їхнє застосування для моделювання ситуативної поведінки агентів.

Результати проведеного аналізу дозволяють поставити завдання магістерської роботи, що полягає в розробці й дослідженні методів і алгоритмів моделювання індивідуальної й колективної поведінки інтелектуальних агентів на основі нечітких ситуаційних мереж, що володіють розширеними можливостями по адаптації до мінливих умов, що враховують взаємозалежність нечітких ситуаційних ознак, різні типи взаємодії, механізми розподілу й рішення завдань, ролі й ступеня відповідальності. Для цього необхідно виконати наступні теоретичні й практичні завдання:

- розробити АНСМ і способи їх побудови для моделювання індивідуальної та колективної поведінки ІА;
- створити методи моделювання індивідуальної й колективної поведінки ІА на основі АНСМ;
- розробити алгоритми моделювання індивідуальної й колективної поведінки ІА на основі АНСМ;
- розробити програмні засоби моделювання індивідуальної й колективної поведінки ІА на основі АНСМ;

- виконати оцінку якості прийняття рішень із використанням запропонованих методів і алгоритмів моделювання індивідуальної й колективної поведінки ІА на основі АНСМ.

До адаптивних нечітких ситуаційних мереж, призначених для моделювання індивідуальної й колективної поведінки інтелектуальних агентів, пред'являються наступні основні вимоги:

- гнучка зміна компонентів мереж (нечітких ознак, ситуацій, що управляють рішень, переходів) і їх значень для забезпечення переходів у цільові ситуації, у тому числі за умови недосяжності цільових ситуацій;

- облік залежностей між нечіткими ситуаційними ознаками при дії на них керуючих рішень;

- виконання пошуку й вибору керуючих рішень і їх послідовностей для переходів між ситуаціями АНСМ відповідно до різних критеріїв і обмеженнями при їхній побудові й адаптивній зміні.

До методів моделювання ситуативної поведінки ІА на основі АНСМ пред'являються наступні основні вимоги:

- здійснення моделювання індивідуальної й колективної поведінки інтенціональних та/або рефлексивних інтелектуальних агентів з урахуванням різних типів взаємодії;

- забезпечення можливості рішення наступних завдань моделювання ситуаційної поведінки ІА: ідентифікація поточних і цільових ситуацій; пошук і вибір послідовностей керуючих рішень для переходу з поточної в цільову ситуацію; вибір послідовності керуючих рішень для досягнення цільової ситуації з поточної з урахуванням критерію пошуку й обмежень;

- адаптація поведінки агентів до змін умов взаємодії із іншими агентами й навколишнього середовища з урахуванням цілей, ролей, ступені відповідності й ресурсів;

- відстеження й вирішення ситуацій конкуренції й конфлікту між агентами.

2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АГЕНТІВ

2.1 Адаптивні нечіткі ситуаційні мережі й способи їх побудови

Адаптивна нечітка ситуаційна мережа представляється у наступному вигляді [10]:

$$\text{АНСМ} = \langle P, S, R, U, \text{Int}, \text{Roles}, \text{Adapt}, \text{Paths} \rangle,$$

де $P = \{p_1, p_2, \dots, p_I\}$ – множина нечітких ситуаційних ознак;

$S = \{s_1, s_2, \dots, s_G\}$ – множина нечітких ситуацій;

$R = \{r_{k_i}^{p_i}\}$ – множина нечітких керуючих рішень,
 $p_i \in P, k_i \in \{1, 2, \dots, K_i\}; U = \{u_1, u_2, \dots, u_Y\}$ – множина нечітких керуючих переходів;

Int – множина нечітких відносин впливу ознак один на одного;

$\text{Roles} = \{\text{Role}_1, \text{Role}_2, \dots, \text{Role}_W\}$ – множина ролей агентів;

Adapt – правила адаптації АНСМ, що полягають у зміні компонентів мереж (нечітких ознак, ситуацій, що управляють рішень, переходів) і їх значень;

Paths – множина адаптивна формованих послідовностей керуючих рішень для переходів з поточних у цільові ситуації.

Приклад структури адаптивної нечіткої ситуаційної мережі наведено на рис. 2.1.

Множина ситуаційних ознак $P = \{p_i\}, i = 1, \dots, I$ містить у собі ознаки, необхідні для аналізу взаємодії й моделювання поведінки агентів.

Можливі наступні варіанти представлення ситуаційних ознак в АНСМ залежно від ступеня можливого впливу на них ролей агентів.

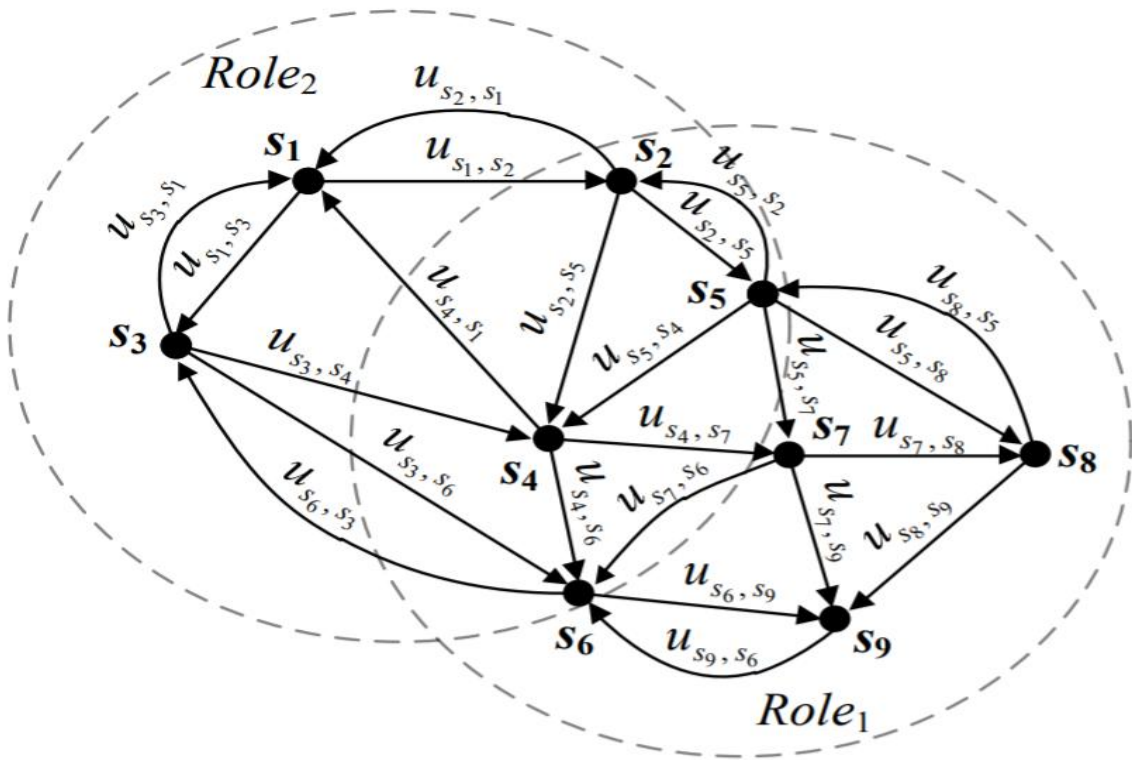


Рисунок 2.1 – Приклад структури адаптивної нечіткої ситуаційної мережі

Для кожної ролі задається свій набір ознак. У цьому випадку ознака p_i описується в такий спосіб:

$$p_i = \langle T_{p_i}, D_{p_i}, Roles^{p_i} \rangle, i \in \{1, 2, \dots, I\},$$

де $T_{p_i} = \{T_1^{p_i}, T_2^{p_i}, \dots, T_{J_i}^{p_i}\}$ – терм-множина для опису ознаки p_i ,

J_i – число термів (значень) із T_{p_i}

D_{p_i} – базова множина ознаки p_i ; $Roles^{p_i} \subset Roles$ – перелік ролей, які можуть впливати на зміну ознаки p_i .

Для опису термів $T_j^{p_i}, j \in \{1, 2, \dots, J_i\}$, відповідних до значень ознаки p_i , використовуються нечіткі множини

$$\tilde{T}_j^{p_i} = \left\{ \left(\mu_{T_j^{p_i}}(d) / d \right) \right\}, d \in D_{p_i},$$

де $\mu_{T_j^{p_i}}(d)$ – функція приналежності нечіткої множини $T_j^{p_i}$ до значення d ознаки p_i .

Набір ознак є загальним для всіх ролей, а ролі впливають на зміни окремих термів (значень) ознак. У цьому випадку нечітка ознака p_i описується в такий спосіб:

$$p_i = \langle T_{p_i}, D_{p_i} \rangle, i \in \{1, 2, \dots, I\},$$

де $T_{p_i} = \{T_1^{p_i}, T_2^{p_i}, \dots, T_{m_i}^{p_i}\}$ – терм-множина для опису ознаки p_i ,

m_i – число термів (значень) із T_{p_i} ,

D_{p_i} – базова множина ознаки p_i .

При цьому $Roles^{p_i} = Roles, \forall p_i \in P$. І співвідношення встановлюється не між нечіткою ознакою й ролями агентів, а конкретизується для окремих термів усіх ознак, тобто,

$$\langle T_j^{p_i}, D_{p_i}, Roles^{T_j^{p_i}} \rangle, T_j^{p_i} \in T_{p_i},$$

де $Roles^{T_j^{p_i}} \subset Roles$ – перелік ролей, які можуть впливати на зміну значення $T_j^{p_i}$.

Для кожної ролі задається як свій набір ознак, так і значення окремих ознак, на які ці ролі можуть впливати.

У цьому випадку ознака p_i описується в такий спосіб:

$$p_i = \langle T_{p_i}, D_{p_i}, Roles^{p_i} \rangle, i \in \{1, 2, \dots, I\},$$

де $T_{p_i} = \{T_1^{p_i}, T_2^{p_i}, \dots, T_{j_i}^{p_i}\}$ $T_{p_i} = \{T_1^{p_i}, T_2^{p_i}, \dots, T_{m_i}^{p_i}\}$ – терм-множина для опису ознаки p_i .

Кожен терм описується:

$$\langle T_j^{p_i}, D_{p_i}, Roles^{T_j^{p_i}} \rangle, T_j^{p_i} \in T_{p_i},$$

де $Roles^{T_j^{p_i}} \subset Roles$ – перелік ролей, які можуть впливати на зміну значення $T_j^{p_i}$.

Цей варіант представлення нечітких ознак поєднує в собі можливості перших двох варіантів і дозволяє підвищити гнучкість використання АНСМ при моделюванні колективної поведінки інтелектуальних агентів.

2.2 Методи розрахунку нечітких множин

Множина нечітких ситуацій $S = \{s_g\}, g=1, \dots, G$ являє собою сукупність нечітких множин 2-го рівня, кожне з яких представлено набором нечітких значень ознак, що описують стану агентів і навколишнього середовища, необхідних для моделювання поведінки цих агентів.

Нечітка ситуація S_h адаптивної нечіткої ситуаційної мережі представляється нечіткою множиною 2-го рівня у наступному вигляді:

$$\forall s_h \in S, \tilde{s}_h = \{(\mu_{\tilde{s}_h}(\tilde{p}_i)/P), Roles^{s_h}\}, p_i \in P, Roles^{s_h} \subset Roles,$$

де $\tilde{p}_i = \{(\mu_{\tilde{p}_i}(T_j^{p_i})/T_j^{p_i})\}, i \in \{1, 2, \dots, I\}, j \in \{1, 2, \dots, J_i\}, Roles^{s_h}$ – перелік ролей, які можуть впливати на зміну нечіткої ситуації S_h . Таким чином, та сама роль $Roles^{s_{h_i}} \in Roles^{s_h}$ може дозволяти зміна як декількох ситуацій, так і однієї конкретної. Характер представлення нечітких ситуацій в АНСМ не залежить від вище розглянутих варіантів представлення нечітких ознак.

Множина нечітких керуючих рішень $R = \{r_{k_i}^{p_i}\}, p_i \in P, k_i \in \{1, \dots, K_i\}$ містить у собі дії, спрямовані, як правило, на зміну значень окремих ознак, що й приводять до переходів з однієї нечіткої ситуації в іншу.

Так керуюче рішення, впливає на зміну ситуаційної ознаки p_i , представляється в наступному вигляді:

$$r_{k_i}^{p_i} = \langle Tr_{r_{k_i}^{p_i}}, Er_{r_{k_i}^{p_i}}, Dr_{r_{k_i}^{p_i}} Roles^{r_{k_i}^{p_i}} \rangle, r_{k_i}^{p_i} \in R, k_i \in \{1, 2, \dots, K_i\}, p_i \in P,$$

де $Tr_{r_{k_i}^{p_i}} = \{Tr_1^{r_{k_i}^{p_i}}, Tr_2^{r_{k_i}^{p_i}}, Tr_3^{r_{k_i}^{p_i}}\}$ – терм-множина напрямку керуючого рішення $r_{k_i}^{p_i}$:

$$\{Tr_1^{r_{k_i}^{p_i}} - \text{«Збільшити»}, Tr_2^{r_{k_i}^{p_i}} - \text{«Зменшити»}, Tr_3^{r_{k_i}^{p_i}} - \text{«Не змінювати»}\};$$

$$Er_{r_{k_i}^{p_i}} = \{Er_1^{r_{k_i}^{p_i}}, Er_2^{r_{k_i}^{p_i}}, \dots, Er_L^{r_{k_i}^{p_i}}\} - \text{терм-множина сили керуючого рішення}$$

$r_{k_i}^{p_i}$. Наприклад, $\{Er_1^{r_{k_i}^{p_i}} - \text{«Дуже слабо»}, Er_2^{r_{k_i}^{p_i}} - \text{«Слабо»}, \dots, Er_L^{r_{k_i}^{p_i}} - \text{«Дуже}$

сильно»}; $Dr_{r_{k_i}^{p_i}}$ – шкала сили керуючого рішення $R_{k_i}^{p_i}$, наприклад, $[-1;1]$; $Roles^{R_{k_i}^{p_i}} \subset Roles$ – перелік ролей, які можуть впливати на зміну керуючого рішення $r_{k_i}^{p_i}$.

Кожне керуюче рішення $r_{k_i}^{p_i}$, застосовуване до деякої нечіткої ситуації S_h , фактично зводиться до його впливу на окрему ознаку p_i . Цей керуючий вплив представляється нечітким відношенням впливу $\tilde{r}_{k_i}^{p_i}, r_{j,j} \in [0,1]$ у матричному виді проілюстрованим на рисунку 2.2.

$$\tilde{r}_{k_i}^{p_i} =$$

	$T_1^{p_i}$	$T_2^{p_i}$	$\dots$	$T_{J_i}^{p_i}$
$T_1^{p_i}$	r_{11}	$r_{1,j}$	$\dots$	r_{1,J_i}
$T_2^{p_i}$	r_{21}	$r_{j,j}$	$\dots$	r_{j,J_i}
$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
$T_{J_i}^{p_i}$	$r_{J_i,1}$	$r_{J_i,j}$	$\dots$	r_{J_i,J_i}

Рисунок 2.2 – Ілюстрація нечіткого відношення впливу $r_{k_i}^{p_i}$, відповідного до керуючого рішення $r_{k_i}^{p_i}$, що діє на ознаку p_i

Вплив нечіткого відношення на ситуаційну ознаку реалізується у вигляді операції нечіткої *max-min*-композиції між нечіткою множиною $\tilde{p}_i = \{(\mu_{\tilde{p}_i}(T_j^{p_i})/T_j^{p_i})\}, i \in \{1,2, \dots, I\}, j \in \{1,2, \dots, J_i\}$, яка представляє значення змінюваної ситуаційної ознаки p_i , і цим нечітким відношенням. У результаті визначається змінене значення ознаки p_i :

$$\tilde{p}_i' = \tilde{p}_i \circ \tilde{r}_{k_i}^{p_i}.$$

Керуючі рішення спрямовані на зміну значень, як правило, окремих ознак. Разом з тим, ці рішення можуть приводити до змін і відразу декількох ознак. У цьому випадку для мережі задається так звана локальність керуючих рішень, що обмежує максимально припустима кількість ознак, яку можна змінити одним

керуючим рішенням. Керуюче рішення називається 1-локальним, якщо воно змінює значення тільки однієї ознаки ситуації, і k -локальним, якщо приводить до зміни значень відразу k ознак.

При впливі керуючих рішень на ознаки ситуацій у випадку k -локального керуючого рішення використовувати відповідну йому сукупність із k 1-локальних рішень. При цьому пропонується враховувати відношення впливу нечітких ознак один на одного (див. нижче). Це дозволяє підвищити гнучкість побудови й використання нечітких ситуаційних моделей, у тому числі при моделюванні поведінки агентів для різних видів і ситуацій їх взаємодії.

Множина керуючих переходів $U = \{u_{s_{beg}, s_{end}}\}$, що відображає переходи з нечітких ситуацій друг у друга, то нечіткий перехід $u_{s_{beg}, s_{end}}$ представляється у вигляді:

$$u_{s_{beg}, s_{end}} = \langle s_{beg}, s_{end}, r_{k_i}^{p_i}, w_{s_{beg}, s_{end}}, Roles^{u_{s_{beg}, s_{end}}} \rangle, u_{s_{beg}, s_{end}} \in U,$$

де s_{beg}, s_{end} – вихідна й кінцева нечіткі ситуації для переходу $u_{s_{beg}, s_{end}}$ при впливі на ситуацію s_{beg} керуючого рішення $r_{k_i}^{p_i} \in R$; $w_{s_{beg}, s_{end}}$ – вага керуючого переходу $u_{s_{beg}, s_{end}}$; $Roles^{u_{s_{beg}, s_{end}}} \subset Roles$ – перелік ролей, котрим дозволене застосування даного керуючого переходу.

Ваги керуючих переходів можуть мати різну інтерпретацію в залежності від розв'язуваного завдання. Наприклад, вони можуть характеризувати або значимість відповідного переходу для вибору послідовності керуючих рішень, або ресурси на здійснення цього переходу.

Якщо буде потреба обліку фактора часу в мережі керуюче рішення може бути презентовано в наступному виді:

$$u_{s_{beg}, s_{end}} = \langle s_{beg}, s_{end}, r_{k_i}^{p_i}, w_{s_{beg}, s_{end}}, Roles^{u_{s_{beg}, s_{end}}}, Time_{s_{beg}, s_{end}} \rangle, u_{s_{beg}, s_{end}} \in U,$$

де $Time_{s_{beg}, s_{end}}$ – час виконання переходу, одиниця виміру якого обирається виходячи з особливостей розв'язуваного завдання й моделіруемого агента.

Множина нечітких відносин впливу ситуаційних ознак один на одного

$$Int = \{Int^{(p_i p_z)} | i, z = 1, 2, \dots, I, i \neq z\}.$$

Нечітке відношення впливу $Int^{(p_i p_z)}$ формується для кожної пари ознак p_i і p_z , $i, z \in \{1, 2, \dots, I\}, i \neq z$, а сама, для всіх комбінацій значень із терм-множини $\{T_1^{p_i}, T_2^{p_i}, \dots, T_{m_i}^{p_i}\}$ ознаки p_i . Відносини впливу є спрямованими, при цьому відношення $Int^{(p_i p_z)}$ та $Int^{(p_z p_i)}$ в загальному випадку не рівні.

У матричному вигляді відношення $Int^{(p_i p_z)}$ ознаки p_i на ознаку p_z зображено на рисунку 2.3. Елементи матриці $Int^{(p_i p_z)}$ задають силу впливу, наприклад, у лінгвістичному вигляді {«Низький», «Середній», «Високий»} або значеннями з діапазону $[0, 1]$.

Пропонується наступний спосіб завдання нечітких відносин впливу ситуаційних ознак один на одного, що дозволяє типізувати оцінку впливу керуючих рішень при переході із ситуації в ситуацію з урахуванням взаємовпливу цих ознак.

Відповідно до нечітких відносин впливу, вплив керуючого рішення на одну ознаку приводять до змін і інших ознак і, в остаточному підсумку, впливає на переходи між ситуаціями.

$$Int^{(p_i, p_z)} =$$

	$T_1^{p_z}$	$T_2^{p_z}$	...	$T_{m_z}^{p_z}$
$T_1^{p_i}$	$Int_{11}^{(p_i, p_z)}$	$Int_{12}^{(p_i, p_z)}$	...	$Int_{1m_z}^{(p_i, p_z)}$
$T_2^{p_i}$	$Int_{21}^{(p_i, p_z)}$	$Int_{22}^{(p_i, p_z)}$	...	$Int_{2m_z}^{(p_i, p_z)}$
...	...	...	...	...
$T_{m_i}^{p_i}$	$Int_{m_i 1}^{(p_i, p_z)}$	$Int_{m_i 2}^{(p_i, p_z)}$	...	$Int_{m_i m_z}^{(p_i, p_z)}$

Рисунок 2.3 – Матричне представлення відносини впливу $Int^{(p_i p_z)}$ ознаки p_i на ознаку p_z

Для забезпечення коректного застосування керуючих рішень в умовах взаємовпливу нечітких ситуаційних ознак один на одного виконується перевірка транзитивності нечітких відносин впливу.

Якщо властивість транзитивності для якого-небудь відношення впливу не забезпечується, то виконується транзитивне замикання:

$$Int = Int \vee Int^2 \vee \dots \vee Int^k \dots,$$

де

$$Int = \begin{pmatrix} Int^{(p_1, p_1)} & Int^{(p_1, p_2)} & \dots & Int^{(p_1, p_I)} \\ Int^{(p_2, p_1)} & Int^{(p_2, p_2)} & \dots & Int^{(p_2, p_I)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Int^{(p_I, p_1)} & Int^{(p_I, p_2)} & \dots & Int^{(p_I, p_I)} \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{— матриця нечітких} \\ \text{відношень впливу ситуаційних} \\ \text{ознак один на одного;} \end{array}$$

Int^k — нечітке відношення, що задаються рекурсивно: $Int^k = Int^{k-1} \circ Int$.

Якщо замикання досягти не вдається, то може знадобитися уточнення моделі експертами.

Нехай у результаті застосування деякого керуючого рішення $r_{k_i}^{p_i}$ нечітка множина

$$\tilde{p}_i = \left\{ \left(\mu_{\tilde{p}_i}(T_j^{p_i}) / T_j^{p_i} \right) \right\}, i \in \{1, 2, \dots, I\}, j \in \{1, 2, \dots, J_i\},$$

представляючи значення змінюваної ситуаційної ознаки P_i , змінилося в такий спосіб:

$$\tilde{p}'_i = \left\{ \left(\mu_{\tilde{p}'_i}(T_j^{p_i}) / T_j^{p_i} \right) \right\}, i \in \{1, 2, \dots, I\}, j \in \{1, 2, \dots, J_i\}.$$

Тоді результуюче зміна Δp_i цієї ознаки можна представити у вигляді пари нечітких множин (для рішення проблеми спільного обліку його позитивних і негативних змін):

$$\Delta p_i^+ = \left\{ \left(\mu_{\Delta p_i^+}(T_j^{p_i}) / T_j^{p_i} \right) \right\}, i \in \{1, 2, \dots, I\}, j \in \{1, 2, \dots, J_i\},$$

для обліку позитивних змін значень ознаки p_i ;

$$\Delta p_i^- = \left\{ \left(\mu_{\Delta p_i^-}(T_j^{p_i}) / T_j^{p_i} \right) \right\}, i \in \{1, 2, \dots, I\}, j \in \{1, 2, \dots, J_i\},$$

для обліку негативних змін значення ознаки p_i .

Потім окремо визначаються нечіткі множини, які задають позитивні Δp_z^+ і негативні Δp_z^- зміни нечіткої ознаки p_z з урахуванням впливу на нього ознаки p_i :

$$\Delta p_z^+ = \Delta p_i^+ \circ \text{Int}^{(p_i, p_z)} = \left\{ (\mu_{\Delta \tilde{p}_z^+}(T_j^{p_z}) / T_j^{p_z}) \right\},$$

$$\Delta p_z^- = \Delta p_i^- \circ \text{Int}^{(p_i, p_z)} = \left\{ (\mu_{\Delta \tilde{p}_z^-}(T_j^{p_z}) / T_j^{p_z}) \right\}$$

Тоді у результаті впливу на ознаку p_i керуючого рішення $r_{k_i}^{p_i}$, нечітка множина $\tilde{p}_z'$, що характеризує змінене значення залежного ознаки p_z , зміниться відповідно до вираження:

$$\tilde{p}_z' = \left\{ \left(\min \left(1, \max \left(0, \left(\mu_{\tilde{p}_z}(T_j^{p_z}) + \mu_{\Delta \tilde{p}_z^+}(T_j^{p_z}) - \mu_{\Delta \tilde{p}_z^-}(T_j^{p_z}) \right) \right) \right) / T_j^{p_z} \right) \right\}, j \in \{1, 2, \dots, J_z\}.$$

Аналогічним шляхом враховується вплив ознаки p_i при впливі на нього керуючого рішення на інші ситуаційні ознаки з P .

2.3 Аналіз відношень впливу нечітких ознак

Облік відношень впливу нечітких ознак один на одного на основі пропонованого способу дозволяє підвищити гнучкість створення АНСМ і облегшити процедури їх побудови й адаптивної зміни при моделюванні поведінки агентів, на відміну від способу з роботи [67], де цей вплив враховується лише непрямим шляхом за рахунок трудомістких процедур при реалізації властивості k -локальності керуючих рішень.

Множина ролей $Roles = \{Role_w\}$, $w = 1, \dots, W$, різняться доступом до різних сукупностей нечітких ознак, ситуацій, керуючих рішень, переходів.

Відповідність між ролями й перерахованими компонентами АНСМ може встановлюватися декларативно, тобто безпосереднім призначенням. Однак у цьому випадку потрібна перевірка на повноту й несуперечність такої відповідності, внаслідок того, що відповідність ситуаційних ознак (значень ситуаційних ознак) фактично обумовлює відповідність цих ролей і для тих нечітких ситуацій, які утворюються для цих ситуаційних ознак (значень ситуаційних ознак).

Якщо одному агентові призначається кілька ролей, тоді відносно нього поєднуються сукупності відповідних до цих ролей: ознак, ситуацій, керуючих рішень, переходів.

Правила адаптації АНСМ *Adapt* застосовується на етапах побудови й використання мережі.

Множина шляхів (маршрутів) між ситуаціями являє собою множину сукупностей шляхів між кожною парою нечітких ситуацій у результаті виконання відповідних послідовностей керуючих рішень:

$$Paths = \{Path^{(s_{cur}, s_{targ})}\},$$

де $Path^{(s_{cur}, s_{targ})}$ – сукупність шляхів між поточною s_{cur} і цільовою s_{targ} ситуаціями, $s_{cur}, s_{targ} \in S$.

Деякий b -й шлях між ситуаціями s_{cur} і s_{targ} визначається для кожної ролі $Role_w \in Roles$ у такий спосіб:

$$s_{cur} \xrightarrow{b, Role_w} s_{targ} : Path_b^{(s_{cur}, s_{targ})} = (s_{cur}, s_{t_1^b}, \dots, s_{t_n^b}, s_{targ}), b = 1, \dots, B,$$

де B – число можливих шляхів між ситуаціями s_{cur} і s_{targ} .

Перехід по маршруту з вихідної нечіткої ситуації s_{in} у суміжну з нею ситуацію s_{fin} здійснюється, по-перше, при наявності керуючого переходу $u_{s_{in}, s_{fin}}$ між цими ситуаціями й, по-друге, при впливі на вихідну ситуацію s_{in} відповідного до цього переходу керуючого рішення $r_{k_i}^{p_i}$.

Вплив же керуючого рішення $r_{k_i}^{p_i}$ на нечітку ситуацію s_{in} зводиться до операції нечіткої композиції відповідного до цієї ситуації нечіткої множини 2-го рівня $\tilde{s}_{in}$ і нечіткого відношення $\tilde{r}_{k_i}^{p_i}$, що характеризує дане керуюче рішення. Після чого отриманий результат у вигляді нечіткої множини 2-го рівня $\tilde{s}'$ (, що характеризує проміжну ситуацію s') зіставляється з нечіткою множиною 2-го рівня $\tilde{s}_{fin}$ (, що представляють нечітку ситуацію s_{fin}) на основі, наприклад, операції нечіткої рівності або нечіткої g - q -спільності (для випадку різного числа

ознак). І при перевищенні деякого граничного значення робиться висновок про перехід із ситуації s_{in} у ситуацію s_{fin} :

$$\tilde{s}' = \tilde{s}_{in} \circ \tilde{r}_{k_i}^{p_i}, \tilde{s}_{fin} \approx \tilde{s}'.$$

Після висновку про перехід у нову ситуацію може бути виконане так зване «контрастування» ситуації, тобто присвоєння показникам поточної ситуації еталонних значень показників типової ситуації s_{fin} .

2.4 Алгоритми побудови маршрутів

Можуть бути розглянуті наступні випадки побудови маршрутів:

- для випадку вже сформованої мережі;
- у процесі побудови мережі;
- у випадку «розподілу» фрагментів мережі по ролях при зміні (доповненні, скороченні) структури мережі (ситуаціями, що керують рішеннями, керуючими переходами), якщо для якої-небудь ролі відсутня можливість досягнення цільової(их) ситуації(й).

Маршрути будуються для кожного агента. При цьому на побудову маршрутів впливають наступні фактори:

- види взаємодії агентів (незалежність, суперництво, кооперація) їх, що впливають на можливу зміну, маршрутів, насамперед, для фрагментів мережі, загальних для цих агентів;
- критерії й обмеження досяжності цільових ситуацій.
- У якості критеріїв при виборі маршрутів між поточними й цільовими ситуаціями можуть використовуватися наступні:
 - максимальна сума ваг керуючих переходів;
 - мінімальна кількість керуючих переходів;
 - максимальна надійність маршруту.

Обмеженнями, що накладаються на вибір маршруту, можуть служити вимоги до проміжних ситуацій на маршруті, а саме, до складу й значенням ознак ситуацій.

3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Алгоритм зворотної побудови адаптивних нечітких ситуаційних мереж

При зворотному підході до побудови АНСМ на множині еталонних нечітких ситуацій потрібно ввести відношення, граф якого відображає можливі переходи із ситуації в ситуацію. Визначаючи необхідні для переходів керуючі рішення і їх ваги, формується адаптивна нечітка ситуаційна мережа. Етапи 1–4 алгоритму зворотної побудови АНСМ відповідають аналогічним етапам методу прямої побудови АНСМ, однак, зворотний спосіб побудови АНСМ можна застосовувати тільки у випадку взаємної незалежності значень нечітких ознак. Таким чином, етап завдання множини нечітких відносин впливу ситуаційних ознак один на одного *Int* у зворотному способі побудови відсутній.

Основні відмінності між прямим і зворотним способами побудови полягають в етапах будівлі-будови-по-будови графа мережі. Побудова АНСМ із використанням даного способу містить у собі перераховані нижче етапи [13].

Етап 1. Завдання параметрів мережі:

- поріг нечіткої рівності σ ;
- критерій пошуку шляху Cr ;
- обмеження на знайдені шляхи Ogr за заданим критерієм Cr .

Етап 2. Завдання нечітких ознак P . Для кожної ознаки p_i визначається:

- діапазон припустимих значень D_{p_i} ;
- терм-множина T_{p_i} ; для кожного терма $T_j^{p_i}$ завдається його функція приналежності $\mu_{T_j^{p_i}}$.

Етап 3. Завдається множина нечітких ситуацій S на підставі визначених раніше ознак і термів. Усі вони описуються значеннями ознак з множини P . Формування нової нечіткої ситуації s_t відбувається наступним чином:

- задаються чіткі або лінгвістичні значення P' усіх ознак для даної ситуації:

$$P' = \{p'_1, p'_2, \dots, p'_I\};$$

де p'_i – значення ознаки p_i , $p'_i \in D_{p_i}$; I – кількість нечітких ознак в АНСМ;

– обчислення нечітких значень усіх термів нечітких ознак на підставі введених значень P' . У результаті буде отримана ситуація s_{temp} ;

– необхідно перевірити, чи існує вже така ситуація в мережі. Для цього отриману ситуацію s_{temp} потрібно зрівняти з усіма ситуаціями мережі за допомогою операції g - q -спільності:

$$\forall h \in \{1, \dots, G\} : \vartheta_{g-q}(s_h, s_{temp}) = \bigwedge_{p_i \in P \setminus P_q} \theta(\mu_{s_h}(p_i), \mu_{s_{temp}}(p_i)).$$

Якщо $\vartheta_{g-q}(s_h, s_{temp}) \geq \sigma$, то ситуації s_h і s_{temp} мають g - q -спільність (вони фактично нечітко рівні) і додавати ситуацію s_{temp} в АНСМ не потрібно.

Якщо $\forall h \in \{1, \dots, G\} : \vartheta_{g-q}(s_h, s_{temp}) < \sigma$, то ситуації рівної s_{temp} в АНСМ немає і її необхідно додати в мережу:

$$S = S \cup s_{temp}.$$

Етап 4. Формується множина керуючих рішень R . Для кожного керуючого рішення $r_{k_i}^{p_i}$ задаються його: тер-множина напрямку $Tr_{r_{k_i}^{p_i}}$; терм-множина сили $Er_{r_{k_i}^{p_i}}$; шкала сили $Dr_{r_{k_i}^{p_i}}$.

Етап 5 – формується граф, вершинами якого є типові нечіткі ситуації з S , що володіють $(g-q)$ -спільністю. Ситуації s_{beg} і s_{end} з'єднуються керуючим переходом $u_{s_{beg}, s_{end}} = \langle s_{beg}, s_{end}, r_{k_i}^{p_i}, w_{s_{beg}, s_{end}}, Roles^{u_{s_{beg}, s_{end}}} \rangle$, $U = U \cup u_{s_{beg}, s_{end}}$, якщо вони мають $(g-q)$ -спільність.

Етап 6 – кожний керуючий перехід $u_{s_{beg}, s_{end}} \in U$ «навантажується» керуючими рішеннями $r_{k_i}^{p_i}$ і вагами $w_{s_{beg}, s_{end}}$. Керуюче рішення $r_{k_i}^{p_i}$, що дозволяє перевести об'єкт із ситуації s_{beg} у ситуацію s_{end} , визначається виходячи з вираження $s_{end} = s_{beg} \circ r_{k_i}^{p_i}$. Якщо рішення $r_{k_i}^{p_i}$ не належить множині керуючих рішень R ($r_{k_i}^{p_i} \notin R$), то воно додається до множини:

$$R = R \cup r_{k_i}^{p_i}.$$

Після додавання нового керуючого переходу $u_{s_{beg}, s_{end}}$ у мережу необхідно перезаповнити множину $Paths$ і перерахувати найкоротші відстані між усіма парами ситуацій мережі. Ця процедура виконується за два кроки. Крок назад: визначається підмножина ситуацій S' , що полягає із ситуацій:

- у які не можна потрапити з початкової ситуації переходу s_{beg} , тобто $s_{beg} \xrightarrow{b, Role_w} s_{exc}: Path_b^{(s_{beg}, s_{exc})} = \emptyset, s_{exc} \in S'$;
- з яких не можна потрапити в початкову ситуацію переходу s_{beg} , тобто для яких $s_{exc} \xrightarrow{b, Role_w} s_{beg}: Path_b^{(s_{exc}, s_{beg})} = \emptyset, s_{exc} \in S'$;
- кінцева ситуація переходу s_{end} виключається з підмножини S' .

Далі формується підмережа і відповідний їй граф з множини ситуацій S_{rem} , отриманий виключенням з розгляду ситуацій S' і з'єднуючих їх керуючих переходів. Крок вперед: у новому графові виконується пошук шляхів між усіма парами вершин з S_{rem} , отримані значення $Path^{(s_{beg}, s_{end})}$ заносяться в $Paths$. У випадку наявності декількох шляхів, що задовольняють умовам – усі вони заносяться в $Paths$ у вигляді

$$Path^{(s_{beg}, s_{end})} = \{Path_1^{(s_{beg}, s_{end})}, Path_1^{(s_{beg}, s_{end})}, \dots, Path_{np}^{(s_{beg}, s_{end})}\},$$

де np кількість знайдених шляхів між ситуаціями s_{beg} і s_{end} .

Етап 7. Завдання множини ролей $Roles$, а також призначення їх відповідним компонентам АНСМ.

Таким чином, розроблений алгоритм для адаптивних нечітких ситуаційних мереж відрізняється від існуючих НСС обліком складних взаємозв'язків між ознаками, адаптацією до можливих змін і можливістю моделювання ситуативної поведінки агентів.

3.2 Алгоритм моделювання індивідуальної поведінки агентів

При моделюванні ситуативної поведінки інтелектуальних агентів потрібно враховувати наступні особливості АНСМ [18]:

- множина ознак P визначається сукупністю параметрів агента, об'єктів, якими він маніпулює, і також його оточення;
- множина нечітких відносин впливу ситуаційних ознак один на одного Int відповідає взаємозв'язкам параметрів агента;
- множина керуючих рішень R містить усі дії, які можуть здійснювати агент;
- множина ситуацій S характеризує можливі стани агента, об'єктів і його оточення;
- множина керуючих переходів U описує зміни станів агента S при здійсненні їм дій з R ;
- множина ролей $Roles$ містить перелік ролей, заходів відповідальності, відповідних до агента;
- множина шляхів (маршрутів) між ситуаціями $Paths$ ураховують можливі стратегії поведінки агента.

Пропонований алгоритм моделювання індивідуальної поведінки інтелектуального агента ґрунтується на побудованій (відповідно до одним з описаних вище способів) АНСМ і складається з перерахованих нижче кроків.

Крок 1. Побудова адаптивної нечіткої ситуаційної мережі. Цей етап містить у собі визначення множин нечітких ознак P , нечітких ситуацій S , керуючих рішень, R керуючих переходів, U , ролей $Roles$, нечітких відносин впливу ситуаційних ознак один на одного Int , формування графа мережі й пошук з урахуванням критерію Cr і обмежень Ogr маршрутів між усіма парами ситуацій – $Paths$. Побудова здійснюється прямим або зворотнім способом.

Крок 2. Ідентифікація поточної ситуації $scur$ за допомогою алгоритму по-
позову й ідентифікації поточної ситуації в АНСМ.

При необхідності (для забезпечення необхідної точності ідентифікації ситуації) можна змінити поріг нечіткої рівності, що може, у залежності від характеру цієї зміни, привести до «схлопування» або «розхлопування» окремих ситуацій мережі.

При цьому необхідно зрівняти новий поріг σ_{new} з попереднім σ : $\sigma_{new} > \sigma$ необхідно провести «схлопування» мережі:

– для кожної можливої пари ситуацій (s_h, s_{ht}) проводиться їх порівняння за допомогою операції g - q -спільності:

$$\forall s_h, s_{ht}, h \neq ht: \vartheta_{g-q}(s_h, s_{ht});$$

– якщо $\vartheta_{g-q}(s_h, s_{ht}) \geq \sigma_{new}$, то ситуації s_h і s_{ht} «схлопується» у ситуацію s_{new} :

$$s_{new} = s_h = s_{ht};$$

$$U_{s_{new}} = U_{s_h} \cup U_{s_{ht}},$$

де $U_{s_{new}}, U_{s_h}, U_{s_{ht}}$ – множини керуючих переходів, пов'язаних з відповідними ситуаціями (тобто вхідні й вихідні з них);

– $\sigma_{new} < \sigma$ – необхідно провести «розхлопування» мережі – операцію обратну «схлопуванню»;

– $\sigma_{new} = \sigma$ – ніяких змін у мережу не вноситься.

Крок 3. Постановка цільової ситуації s_{target} відбувається аналогічно задачі поточної ситуації s_{cur} .

Етапи ідентифікації й постановки поточної й цільовий ситуацій є важливими внаслідок того, що при неправильному визначенні поточної або цільової ситуації всі стратегії поведінки агента, реалізовані на АНСМ, будуть носити неточний, неоптимальний характер. Залежно від помилки визначення цих ситуацій наслідку від застосування обраних стратегій поведінки можуть приводити як до успішного, але неоптимальному досягненню результату, так і давати неправильний результат або спричинити істотні витрати ресурсів без досягнення бажаної мети.

Складність рішення даного завдання полягає в тому, що в більшості випадків важко передбачити досяжність цільової ситуації з довільної поточної ситуації. Ступені переваги керуючих рішень можуть бути визначені таким чином, що ситуація, найбільш підходяща в якості цільової для обраної поточної, часто будуть недосяжними з неї.

Цільова й поточна ситуації можуть вибиратися різними способами: явна вказівка ситуацій мережі, або завдання значень параметрів ситуацій. У першому випадку точність визначення ситуацій залежить від імені, що ухвалює рішення, і ступені його кваліфікації. У другому випадку можливо, що жодна із ситуацій не має набір значень параметрів, що у точності збігається із зазначеними значеннями. Також існує можливість знайти найближчу ситуацію мережі до описаної ситуації – для цього можуть використовуватися операції нечіткої близькості, нечіткого включення, нечіткої g - q -спільності.

З використанням раніше запропонованого способу можна знайти нечітку ситуацію мережі, найближчу до поточної ситуації. Відповідно, цей спосіб забезпечує більш якісне визначення поточних і цільових ситуацій без їх явного завдання. Однак і тут можливий варіант, коли при заданні значенні порогу нечіткої рівності σ у мережі не буде знайдено ситуації, найближчої до поточної. У такому випадку можна використовувати один з наступних підходів:

- змінювати значення порога нечіткої рівності σ , «зм'якшуючи» умови позову найближчої ситуації. Але необхідно враховувати, що в цьому випадку отриманий результат буде менш точним;

- додавати розглянуту ситуації до мережі (з використанням прямого або зворотного способу побудови АНСМ) з додаванням шляхів і послідовностей керуючих рішень, що дозволяють потрапити в нову ситуацію з наявних ситуацій.

При цьому повинні враховуватися такі особливості АНСМ, як, наприклад, кількість ознак, які можуть змінюватися при переході від однієї ситуації до іншої. У результаті, даний процес може супроводжуватися додаванням проміжних ситуацій. Також необхідно передбачити процедуру зіставлення нових переходів з керуючими рішеннями й, при необхідності, генерації нових рішень. Даний підхід

є більш гнучким у порівнянні з варіантом підстроювання порога нечіткої рівності σ і дозволяє одержати більш якісні результати.

Крок 4. Визначення послідовностей керуючих рішень і пошук маршрутів.
Для поточної s_{cur} і цільовий s_{targ} ситуацій:

$$\forall s_{cur}, s_{targ} \in S: Path^{(s_{cur}, s_{targ})} \in Paths;$$

Крок 5. Застосування отриманої послідовності керуючих рішень і переклад агента в цільовий стан s_{targ} .

Крок 6. При зміні критерію пошуку Cr або обмежень Ogr проводиться перерахування множини $Paths$:

$$\forall s_{cur}, s_{targ} \in S: Paths = Paths \cup Path^{(s_{cur}, s_{targ})},$$

де $Path^{(s_{cur}, s_{targ})}$ – найкращий шлях між ситуаціями s_{cur} і s_{targ} для заданих критерію пошуку Cr і обмежень Ogr .

Крок 7. При зміні структури мережі (додаванні нових ознак, ситуацій, керуючих переходів) виконується адаптивне перебудування ділянок мережі, і проводиться перерахування множини $Paths$:

$$\forall s_{cur}, s_{targ} \in S: Paths = Paths \cup Path^{(s_{cur}, s_{targ})},$$

де $Path^{(s_{cur}, s_{targ})}$ – обраний шлях між ситуаціями s_{cur} і s_{targ} у відповідності з заданим критерієм пошуку Cr і обмеженнями Ogr .

Визначення послідовності керуючих рішень для агента є однією з найбільш важливих завдань при використанні адаптивних нечітких ситуаційних мереж. Після їхнього застосування здійснюється перехід агента з поточного стану в цільове.

Маршрутів на графові АНСМ між заданими ситуаціями в мережі може бути досить багато. Особі, що ухвалює рішення, можуть бути предіставшюльони всі варіанти, на основі аналізу яких вибирається найбільше підходящих для рішення конкретного завдання. Але найчастіше потрібно вибрати маршрут, відповідно до заданого критерію пошуку.

Вибір такого критерію безпосередньо впливає на оцінку якості одержуваних рішень. Найбільше часто використовуваними критеріями пошуку є наступні:

- середня вага маршруту $V_{sr} = \frac{\sum_j w_{s_{beg}, s_{end_j}}}{Length}$ – вага j -го керуючого переходу, що входить у маршрут, $Length$ – число керуючих переходів у маршруті, що відповідають послідовності керуючих рішень;

- мінімальна вага маршруту

$$V_{pr} = \min(w_{s_{beg}, s_{end_1}}, w_{s_{beg}, s_{end_2}}, \dots, w_{s_{beg}, s_{end_{Length}}}),$$

де $w_{s_{beg}, s_{end_j}}$ – вага j -го керуючого переходу, що входить у маршрут;

- сумарна вага маршруту $V_{su} = \sum_j w_{s_{beg}, s_{end_j}}$ вага j -го керуючого переходу, що входить у маршрут;

- довжина маршруту $V_{len} = Length$, де $Length$ – число керуючих переходів у маршруті, що відповідають послідовності керуючих рішень.

На вибір критерію пошуку впливають наступні особливості [38]:

- інтерпретація ваг, ступенів переваги керуючих рішень;
- ціль розв'язуваного завдання моделювання індивідуальної поведінки агента;
- особливості поведінки агента [34].

Ваги керуючих переходів безпосередньо не використовуються для опису нечітких ситуацій і можуть трактуватися як показники, які повинні бути змінені для переходу з однієї ситуації в іншу, або які виражають ефект від такого переходу. У якості їх можуть виступати, наприклад, час переходу з одного стану в інший стан, витрати ресурсів на цей перехід, виграш від переходу й т.п. Наприклад, у випадку оцінки часу й затрачуваних ресурсів слід вибирати маршрут з мінімальною вагою, а для мінімізації ризиків при досягненні цільової ситуації потрібно шукати маршрут у мережі з максимальною сумарною вагою.

Наступним кроком після завдання поточної й цільової ситуацій, критерію пошуку й вибору послідовності керуючих рішень, є власне пошук маршрутів на

графові мережі між поточної й цільовий ситуаціями. Пошук маршрутів може здійснюватися за допомогою ефективних алгоритмів пошуку шляхів на графах: алгоритму Дейкстри, алгоритму Флойда–Уоршелла, алгоритму Беллмана–Форда, переборного алгоритму. Вибір алгоритму необхідно здійснювати з урахуванням розв'язуваного завдання моделювання ситуативної поведінки агента й специфіки представлення параметрів.

Внаслідок цих особливостей типові пошукові алгоритми практично незастосовні для рішення поставленого пошукового завдання на АНСМ. Тому, як правило, потрібно модифікувати пошукові алгоритми.

Потрібно врахувати можливість того, що на графові АНСМ може бути не знайдене жодного маршруту (і послідовності керуючих рішень), що задовольняє поставленому завданню й умовам. У цьому випадку використовується пропонування спосіб адаптації АНСМ, суть якого полягає в додаванні в АНСМ нових ситуацій і переходів у них із уже існуючих ситуацій і переходів мережі. Для цього можна використовувати оцінку g - q -спільності нечітких ситуацій. Недосяжну цільову ситуацію в цьому випадку потрібно зрівняти з усіма ситуаціями мережі, використовуючи g - q -спільність.

У результаті кожного такого порівняння формується множина P_{q_i} (де i – номер ситуації мережі) ознак, по яких дана i -я ситуація відрізняється від цільової. Після цих зіставлень у якості найближчої до цільової вибирається ситуація, потужність $|P_{q_i}|$ відповідної множини якої мінімальна. Ця ситуація буде найближчої до цільової. Потім з неї будується шлях до цільової ситуації на основі способу прямого або зворотної побудови АНСМ з урахуванням умов і критерію пошуку. В отриманій таким чином мережі будуть бути маршрути з поточної в цільову ситуацію.

Для прискорення процедури пошуку найкоротші шляхи в рамках заданих критерію пошуку Cr і обмежень Ogr зберігаються у множині $Paths$, котра формується при побудові АНСМ. Надалі при використанні АНСМ для моделювання поведінки агентів виконується тільки перерахування цих шляхів у випадку зміни самої АНСМ (при зміні, додаванні або видаленні керуючих

переходів U) або критерію пошуку Cr , або обмежень Ogr , а також при зміні ролей агента.

На етапі використання, пошук маршруту буде полягати в його виборі з множини $Paths$ по поточній і цільовій ситуаціях. Вибір маршруту з $Paths$ у цьому випадку буде характеризуватися свідомо меншим часом, чому це необхідно на пошук маршруту в графові. Безпосередній пошук і вибір шляхів в АНСМ може здійснюватися на основі пошукових алгоритмів в орієнтованих зважених графах, наприклад, Форда. Для зміни множини $Paths$ при додаванні нового керуючого переходу в АНСМ можна використовувати або алгоритм Флойда, або виконання пошуку k разів (по кількості можливих комбінацій ситуацій АНСМ) за допомогою алгоритму Форда, для перерахування відстаней між ситуаціями АНСМ (вершинами графа).

Таким чином, запропонований алгоритм моделювання індивідуальної поведінки інтелектуальних агентів ґрунтується на АНСМ і враховує особливості поведінки як самих агентів, так і специфіку мінливого середовища, у якому вони функціонують.

3.3 Метод моделювання основі адаптивних нечітких ситуаційних мереж

При моделюванні колективної поведінки взаємодіючих агентів формується загальна АНСМ із відповідних до цих агентів ситуаційних мереж. Побудова такої загальної АНСМ може бути виконано двома способами:

- «знизу–нагору», коли спочатку формуються АНСМ для окремих агентів, а потім вони поєднуються в загальну АНСМ із урахуванням типів взаємодії між агентами;
- «згори–вниз» – спочатку будується АНСМ, що характеризує взаємодію агентів у цілому, а потім у ній виділяються «частки» АНСМ, відповідні окремим агентам.

Побудова загальної АНСМ залежить від типу взаємодії агентів у відповідності з їхніми ролями. Між агентами можливі три типи взаємодії: незалежність, співробітництво, суперництво. Для кожного з них використовується різний механізм побудови загальної АНСМ.

Нехай є дві АНСМ, що відповідають двом різним агентам:

$$АНСМ_1 = \langle P_1, S_1, R_1, U_1, Int_1, Roles_1, Adapt_1, Paths_1 \rangle ;$$

$$АНСМ_2 = \langle P_2, S_2, R_2, U_2, Int_2, Roles_2, Adapt_2, Paths_2 \rangle.$$

При побудові алгоритму слід розглянути основні типи взаємодії цих агентів і особливості відповідних їм АНСМ.

Незалежність – можливі наступні варіанти цього типу взаємодії.

Агенти повністю незалежні друг від друга (рис. 3.1), тобто в них відсутні загальні цілі, і немає загальних обмежених розподілюваних ресурсів.

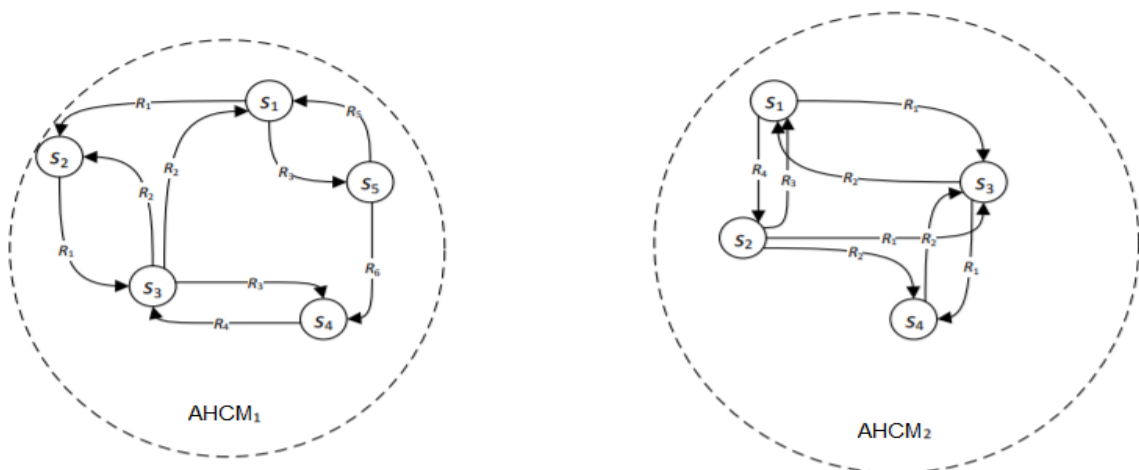


Рисунок 3.1 – АНСМ, що відповідають повністю незалежним агентам

У цьому випадку АНСМ агентів $АНСМ_1$ і $АНСМ_2$ не мають загальних нечітких ознак, нечітких ситуацій ($P_1 \cap P_2 = \emptyset, S_1 \cap S_2 = \emptyset$).

Якщо агенти мають загальні цілі, для досягнення яких вони нік як не взаємодіють один з одним (рис. 3.2). В АНСМ агентів є: k загальних ознак $P_{com} = \{p_{com_1}, \dots, p_{com_k}\}, P_{com} \in P_1, P_{com} \in P_2$, підмножина загальних цільових ситуацій $S_{com}, S_{com} \in S_1, S_{com} \in S_2$, підмножина загальних керуючих переходів $U_{com}, U_{com} \in U_1, U_{com} \in U_2$ між цими ситуаціями. При цьому частина ситуаційних

ознак може змінювати тільки агент с $AHCM_1$, а інші тільки агент с $AHCM_2 (R_1 \cap R_2 = \emptyset)$.

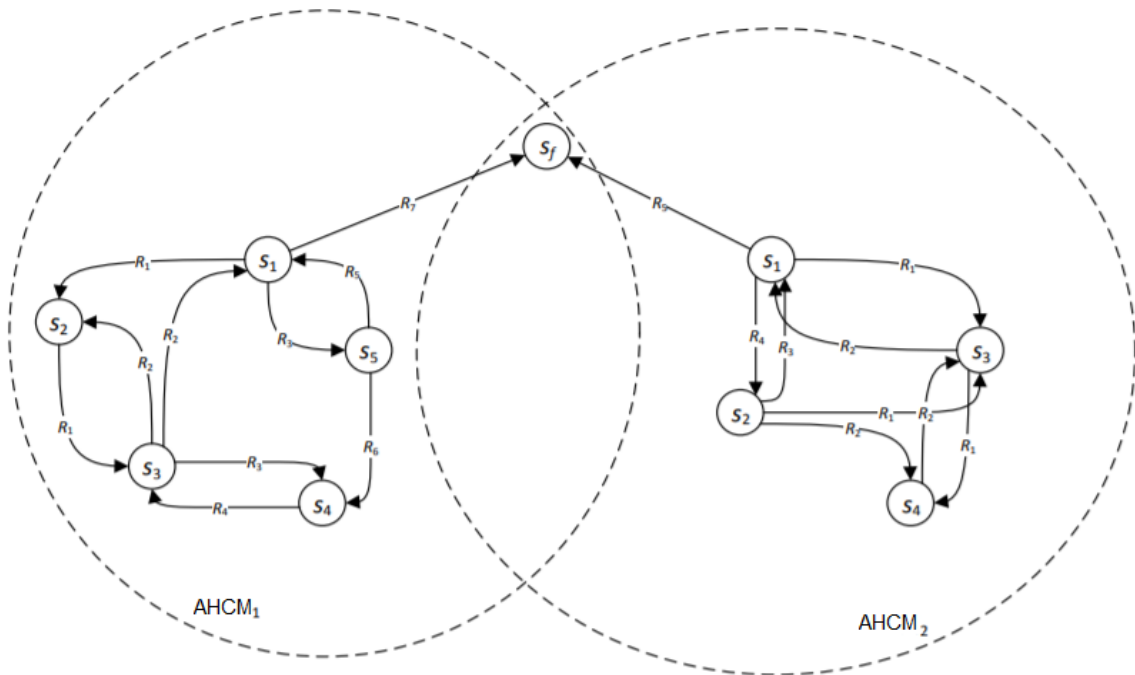


Рисунок 3.2 – АНСМ, відповідна до незалежних агентів
с загальною метою

Суперництво виражається в наявності в агентів різних цілей і загальних обмежених, що розподіляються ресурсів. Даний тип взаємодії агентів реалізується на основі формованої підмережі:

$AHCM_{conf} = \langle P_{conf}, S_{conf}, R_{conf}, U_{conf}, Roles_{conf} = Roles_1 \cup Roles_2, Int_{conf} = Int_1 \cap Int_2, Paths_{conf} \rangle$,
яка базується на підмножині нечітких ознак $P_{conf} = P_1 \cap P_2$, відповідних загальним ресурсам, що розподіляються, а також на підмножині нечітких *ситуацій* $S_{conf} = S_1 \cap S_2$, керуючих *рішень* $R_{conf} = R_1 \cap R_2$ і керуючих переходів $U_{conf} = U_1 \cap U_2$, пов'язаних зі зміною ознак P_{conf} обома агентами (рисунок 3.3).

Співробітництво характеризується наявністю в агентів загальних цілей і/або загальних ресурсів, що розподіляються. У випадку наявності в них тільки загальних цілей, характер взаємодії агентів аналогічний незалежності агентів із загальними цілями.

Якщо в агентів є загальні цілі й загальні, що розподіляються ресурси, то взаємодія таких агентів аналогічно суперництву агентів.

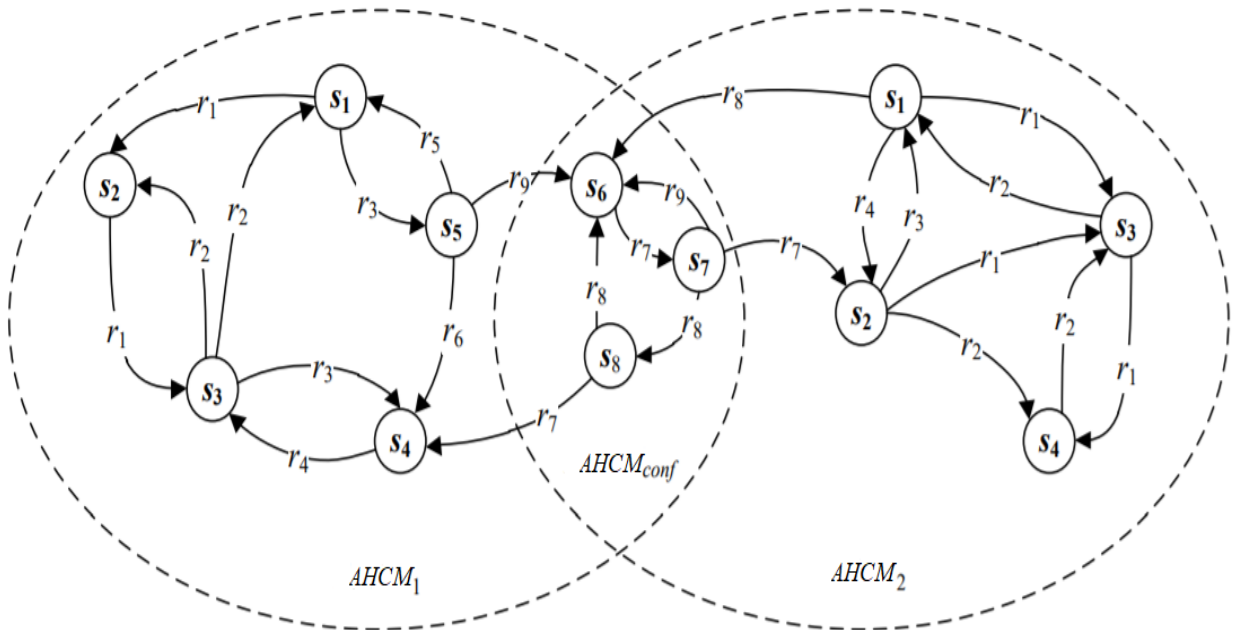


Рисунок 3.3 – АНСМ агентів, що суперничають за загальні ресурси

Формується підмережа наступного виду:

$$ANCM_{ob} = \langle P_{ob}, S_{ob}, R_{ob}, U_{ob}, Roles_{ob} = Roles_1 \cup Roles_2, Int_{ob} = Int_1 \cap Int_2, Paths_{ob} \rangle,$$

яка базується на підмножині нечітких ознак $P_{ob} = P_1 \cap P_2$, відповідних загальним ресурсам, що розподіляються, а також на підмножині нечітких ситуацій $S_{ob} = S_1 \cap S_2$, керуючих рішень $R_{ob} = R_1 \cap R_2$ і керуючих переходів $U_{ob} = U_1 \cap U_2$, пов'язаних зі зміною ознак P_{ob} обома агентами. Крім того, може бути виділена підмножина загальних цільових ситуацій $S_{com}, S_{com} \in S_1, S_{com} \in S_2$ і керуючих переходів $U_{com}, U_{com} \in U_1, U_{com} \in U_2$ між ними, а також k загальних цільових ознак $P_{com} = \{p_{com_1}, \dots, p_{com_k}\}, P_{com} \in P_1, P_{com} \in P_2$, характеризуючих цілі агентів і підмножина їх загальних цільових ситуацій S_{com} , а також множина керуючих рішень R_{com} , за допомогою яких агенти змінюють цільові ознаки P_{com} (рисунок 3.4).

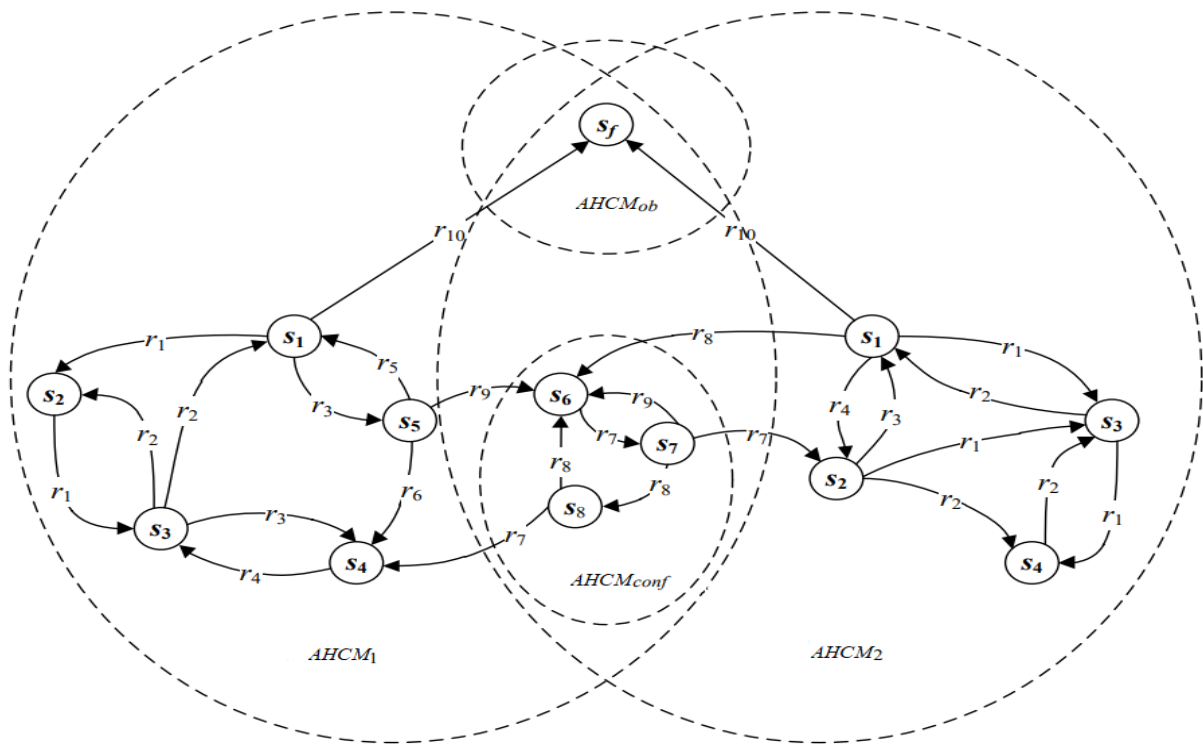


Рисунок 3.4 – АНСМ агентів, що співробітничать, із загальними цілями й ресурсами

Таким чином, взаємодія агентів, що перебувають у відношенні співробітництва, характеризується:

- загальними нечіткими ситуаціями (цільовими або проміжними, пов'язаними з розподілом загальних ресурсів);
- загальними нечіткими ознаками, що відбивають загальні цільові значення, що розподіляються ресурси й загальні;
- загальними керуючими рішеннями, спрямованими на зміну загальних ознак, ресурсів;
- загальними керуючими переходами, що відбивають процес розподілення загальних ресурсів.

Побудова загальної АНСМ

$$AHCM_{new} = \langle P_{new}, S_{new}, R_{new}, U_{new}, Int_{new}, Roles_{new}, Adapt_{new}, Paths_{new} \rangle$$

на підставі $AHCM_1$ і $AHCM_2$ виконується у відповідності з наступним запропонованим способом.

Крок 1. В АНСМ агентів виділяються підмножини ситуацій S_{com_1} і S_{com_2} , загальні для двох мереж.

Крок 2. Задається множина ознак P_{new} загальної мережі $АНСМ_{new} : P_{new} = P_1 \cup P_2$.

Крок 3. Визначається множина керуючих рішень $R_{new} = R_1 \cup R_2$.

Крок 4. Формується множина ситуацій $S_{new} = S_1 \cup S_2$. При цьому ситуаціям $S_h \subset S_{com_1}$ привласнюються нульові значення ознак $P_{dif} = P_{new}/P_1$, що входять до складу тільки $АНСМ_2$ іншого агента. Аналогічна процедура виконується й з нечіткими ситуаціями $S_{nt} \subset S_{com_2}$.

Крок 5. Визначається множина керуючих рішень $U_{new} = U_1 \cup U_2$.

Крок 6. Визначається множина ролей $Roles_{new} = Roles_1 \cup Roles_2$.

Крок 7. Задається множина нечітких відносин впливу ситуаційних ознак один на одного $Int_{new} = Int_1 \cup Int_2$.

Крок 8. Загальні ситуації S_{com_1} і S_{com_2} рівняються один з одним на основі операції нечіткої g - q -спільності. У результаті буде отримана множина нечітких ознак P_{g-q} , значення яких у даних ситуаціях різняться. Якщо P_{g-q} порожнє, то ситуації S_{com_1} і S_{com_2} поєднуються в одну ситуацію S_{new} , інакше в АНСМ генеруються й додаються нечіткі керуючі переходи U_{add} ($U_{new} = U_{new} \cup U_{add}$) і при необхідності нові проміжні ситуації S_{add} ($S_{new} = S_{new} \cup S_{add}$), змінюючи значення ознак P_{g-q} , що й дозволяють перейти ші ситуацій S_{g1} в S_{g2} і навпаки.

Даний спосіб застосовується послідовно для всіх пар агентів з урахуванням типу взаємодії між ними. Таким чином, відбувається поетапне «нарощування» загальної АНСМ агентів.

Метод моделювання колективної поведінки інтелектуальних агентів складається з перерахованих нижче етапів.

Етап 1 – побудова адаптивних нечітких ситуаційних мереж агентів. Для кожного агента цей етап включає визначення множин нечітких ознак P , нечітких ситуацій S , що управляють рішень R , керуючих переходів U , ролей $Roles$, нечітких відносин впливу ситуаційних ознак один на одного Int , формування графа мережі

й пошук відповідно до критерію Cr і обмеженнями Ogr маршрутів між усіма парами ситуацій – $Paths$. Побудова здійснюється прямим або зворотним способом.

Етап 2 – побудова загальної АНСМ. Адаптивні нечіткі ситуаційні мережі агентів поєднуються в залежності від типу взаємодії між ними відповідно до процедури, описаної вище. При цьому ситуації взаємодії трьох і більш агентів реалізуються на основі послідовного об'єднання АНСМ усіх агентів.

При цьому ні збільшення числа взаємодіючих агентів, ні різноманітні типи їх взаємодії не приводить до зміни процедури побудови загальної АНСМ.

Етап 3 – ідентифікація поточної ситуації системи s_{cur} і цільовий ситуації s_{targ} за допомогою алгоритму пошуку й ідентифікації ситуації в АНСМ. Позов виконується одним з наступних способів: явна вказівка поточної або цільової ситуації мережі або завдання значень параметрів цих ситуацій. У випадку якщо жодна із ситуацій мережі не характеризується набором значень ознак, що збігаються зі значеннями ознак поточної або цільової ситуації, виконується пошук найближчої ситуації мережі до поточної ситуації. Для цього можуть використовуватися операції нечіткої близькості, нечіткого включення, нечіткої g - q -спільності.

Якщо докладним образом не вдалося ідентифікувати шукану ситуацію, то вона може бути додана в мережу на основі способу адаптації АНСМ.

Етап 4 – зміна порогу нечіткої рівності σ , критерію пошуку Cr і обмежень Ogr . При зміні порогу $\sigma: \sigma_{new} > \sigma$ – необхідно провести «схлопування» мережі:

– для кожної можливої пари ситуацій (s_h, s_{ht}) проводиться їх порівняння за допомогою операції g - q -спільності:

$$\forall s_h, s_{ht}, h \neq ht: \vartheta_{g-q}(s_h, s_{ht});$$

– якщо $\vartheta_{g-q}(s_h, s_{ht}) \geq \sigma_{new}$ то ситуації s_h і s_{ht} «схлопуються» в s_{new} :

$$s_{new} = s_h = s_{ht},$$

$$U_{s_{new}} = U_{s_h} = U_{s_{ht}},$$

де $U_{s_{new}}, U_{s_h}, U_{s_{hr}}$ – множини керуючих переходів, пов'язаних з відповідними ситуаціями (тобто вхідні й вихідні з них);

Якщо $\sigma_{new} < \sigma$ – необхідно провести «розхлопування» мережі – операцію зворотну «схлопуванню»;

Також, якщо $\sigma_{new} = \sigma$ – ніяких змін у мережу не вноситься.

Етап 5 – при зміні критерію пошуку Cr або обмежень Ogr виконується перерахування мережі $Paths$:

$$\forall s_{cur}, s_{targ} \in S: Paths = Paths \cup Path^{(s_{cur}, s_{targ})},$$

де $Path^{(s_{cur}, s_{targ})}$ – обраний шлях між ситуаціями s_{cur} і s_{targ} для заданих критерію Cr і обмежень Ogr .

Етап 6 – при зміні структури мережі виконується адаптивна перебудова фрагментів мережі, і проводиться перерахування мережі $Paths$:

$$\forall s_{cur}, s_{targ} \in S: Paths = Paths \cup Path^{(s_{cur}, s_{targ})},$$

де $Path^{(s_{cur}, s_{targ})}$ – обраний шлях між ситуаціями s_{cur} і s_{targ} для заданих критерію Cr і обмежень Ogr .

Етап 7 – формування послідовностей керуючих рішень для агентів відповідно до маршрутів переходу для агентів з поточних станів s_{cur} у цільові s_{targ} . Для кожного агента:

$$\forall s_{cur}, s_{targ} \in S: Ans = Path^{(s_{cur}, s_{targ})} \in Paths.$$

Етап 8 – застосування отриманих послідовностей керуючих рішень до відповідних до агентів і переклад їх у цільові стани.

Для пошуку й вибору маршрутів в АНСМ і відповідних послідовностей керуючих рішень задаються критерії пошуку Cr з обліком поставлених задач перед агентами. У якості прикладів подібних критеріїв можна виділити наступні.

Середня вага маршруту:

$$V_{sr} = \frac{\sum_j w_{s_{beg}, s_{end_j}}}{Length},$$

де $w_{s_{beg}, s_{end_j}}$ – вага j -го керуючого переходу, що входить у маршрут,

$Length$ – число керуючих переходів у маршруті, що відповідають послідовності керуючих рішень.

Мінімальна вага маршруту:

$$V_{pr} = \min (w_{s_{beg}, s_{end_1}}, w_{s_{beg}, s_{end_2}}, \dots, w_{s_{beg}, s_{end_{Length}}}),$$

де $w_{s_{beg}, s_{end_j}}$ вага j -ї дуги, що входить до маршруту;

Сумарна вага маршруту:

$$V_{su} = \sum_j w_{s_{beg}, s_{end_j}},$$

де $w_{s_{beg}, s_{end_j}}$ – вага j -го керуючого переходу, що входить до маршруту;

Довжина маршруту:

$$V_{len} = Length,$$

де $Length$ – керуючих переходів в маршруті, що відповідають послідовності керуючих рішень.

Пошук маршрутів в АНСМ здійснюється з використанням: хвильового алгоритму, алгоритму Дейкстри, переборного алгоритму. При виборі алгоритму враховуються: специфіка завдання, що вирішується, критерій пошуку, особливості агентів, типи їх взаємодії. Відповідно, вибір маршруту для агента з поточної ситуації s_{cur} в цільову ситуацію s_{target} з урахуванням заданих критерію пошуку Cr і обмежень Ogr здійснюється з множини $Paths$.

При цьому вирішення ситуацій суперництва (досягнення протилежних цілей різними агентами, доступ до використання загальних ресурсів) і ситуацій співробітництва (порядок доступу до загальних ресурсів) здійснюється лише на основі процедур маніпулювання з АНСМ (їх побудови, адаптації, пошуку й вибору шляхів) для взаємодіючих агентів.

На особливості пошуку шляхів у загальних АНСМ тип взаємодії між агентами впливає в такий спосіб:

- у випадку незалежності агентів моделювання колективної поведінки здійснюється у вигляді моделювання індивідуальної поведінки кожного з агентів;
- у випадку конкуренції між агентами за загальні ресурси, що розподіляються, вводяться ролі, що обмежують доступ агентам до ситуацій з

певними значеннями нечітких ознак, що відповідають даним ресурсам. Наприклад, якщо один з агентів зайняв загальний ресурс, тоді другому агентіві-конкурентові стають недоступні ситуації й керуючі переходи, пов'язані із цим ресурсом. Якщо агент, звільняє даний ресурс, то з його конкурента знімаються обмеження. При накладенні й видаленні обмежень виконується «відновлення» АНСМ агента на основі способу адаптації;

– у випадку співробітництва між агентами можливе додавання для них загальних ознак і загальних ситуацій. Це відбувається у випадку встановлення агентам мети, яку вони можуть досягти за допомогою співробітництва.

Необхідно враховувати, що агенти виконують дії й взаємодіють один з одним у динаміці. Кожна їхня дія забирає певний час. Для забезпечення коректності моделювання їх поведінки з урахуванням цієї динаміки при необхідності слід здійснювати контроль часу виконання керуючих переходів.

Для цього необхідно враховувати: час, затрачений на виконання кожного керуючого рішення агентом; момент початку виконання дії; ситуацію, у якій перебував агент у момент початку виконання дії.

Для кожного керуючого переходу $u_{s_{beg}, s_{end}}$, $u_{s_{beg}, s_{end}} \in U$ вказується час його виконання $Time_{s_{beg}, s_{end}}$.

У кожний момент часу $CurTime$ моделювання може бути отриманий набір $CurState(CurTime) = \{StateAg_1(CurTime), StateAg_2(CurTime), \dots, StateAg_{AgCount}(CurTime)\}$, де $AgCount$ – кількість агентів у системі, $StateAg_1(CurTime)$ – поточний стан l -го агента ($l \in \{1, \dots, AgCount\}$) у момент часу $CurTime$. У початковий момент часу задаються початкові стани для всіх агентів.

Таким чином, у кожний момент часу можна визначити ситуацію, у якій перебував кожний агент. Дану інформацію можна використовувати для моніторингу й дозволу ситуацій конкуренції й конфлікту між агентами. У кожний момент часу моделювання на початку виконання керуючого рішення агентом можна перевірити, не чи зайнята кінцева ситуація переходу, пов'язана, наприклад, з обмеженим загальним ресурсом, іншим агентом. І у випадку її зайнятості – організувати паузу в діях агента до моменту звільнення ситуації іншим агентом.

Таким чином, розроблено алгоритми моделювання колективного поведінки інтелектуальних агентів урахує типи взаємодії агентів і дозволяє відбити різні ситуації їх взаємодії, що дозволяє формувати послідовності керуючих рішень для переходів між ситуаціями відповідно до заданого критерію й обмеженнями, а також переформовувати ці послідовності рішень при зміні структури й параметрів мережі й умов пошуку.

Запропонований спосіб зворотної побудови адаптивних нечітких ситуаційних мереж характеризується попереднім завданням керуючих переходів між нечіткими ситуаціями й застосовний у випадку взаємної незалежності ситуаційних ознак друг від друга.

4 ОПИС РОЗРОБЛЕНОЇ ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ

4.1 Структура програмних засобів моделювання

В якості мови програмування для реалізації програми було обрано орієнтовану-об'єктно-орієнтовану мову програмування C# для платформи .NET, що має наступними переваги:

- підтримує усі принципи ООП: інкапсуляцію, спадкування й поліморфізм;
- містить «збирач сміття», який дозволяє захистити додатки від «витоку» пам'яті й необхідності звільняти ресурси;
- забезпечує автономність додатків, у тому розумінні, що вони не залежать від інших програм, зокрема від операційної системи; встановлення додатку може бути виконана звичайним копіюванням файлів;
- додатки можуть взаємодіяти з додатками, написаними на інших мовах платформи .NET;
- усі помилки обробляються механізмом виняткових ситуацій;
- використовуються безпечні типи, що підвищує їхню надійність, сумісність і кросплатформеність.

У якості середовища розробки обрана Microsoft Visual Studio.

Програма складається з файлу, що виконується, ANSS.exe.

Вхідними даними для програми є описи компонентів АНСМ, що вводяться користувачем за допомогою спеціальних полів інтерфейсу або, що завантажуються з файлу.

Вихідними даними є знайдені стратегії керування в мережі, представлені у вигляді текстового рядка, або збережені у файл.

Для реалізації побудови графічного зображення мережі й знайдених шляхів використовувалися методи стандартного класу Graphics.

Програмні засоби призначені для використання на персональних ЕОМ, що працюють під керуванням ОС Windows, починаючи з версії 7. Обов'язковою

вимогою є наявність середовища виконання програм CLR, що встановлюється разом з пакетом .Net Framework.

На рис. 4.1 представлена структура розроблених програмних засобів моделювання індивідуальної й колективної поведінки інтелектуальних агентів на основі адаптивних нечітких ситуаційних мереж.

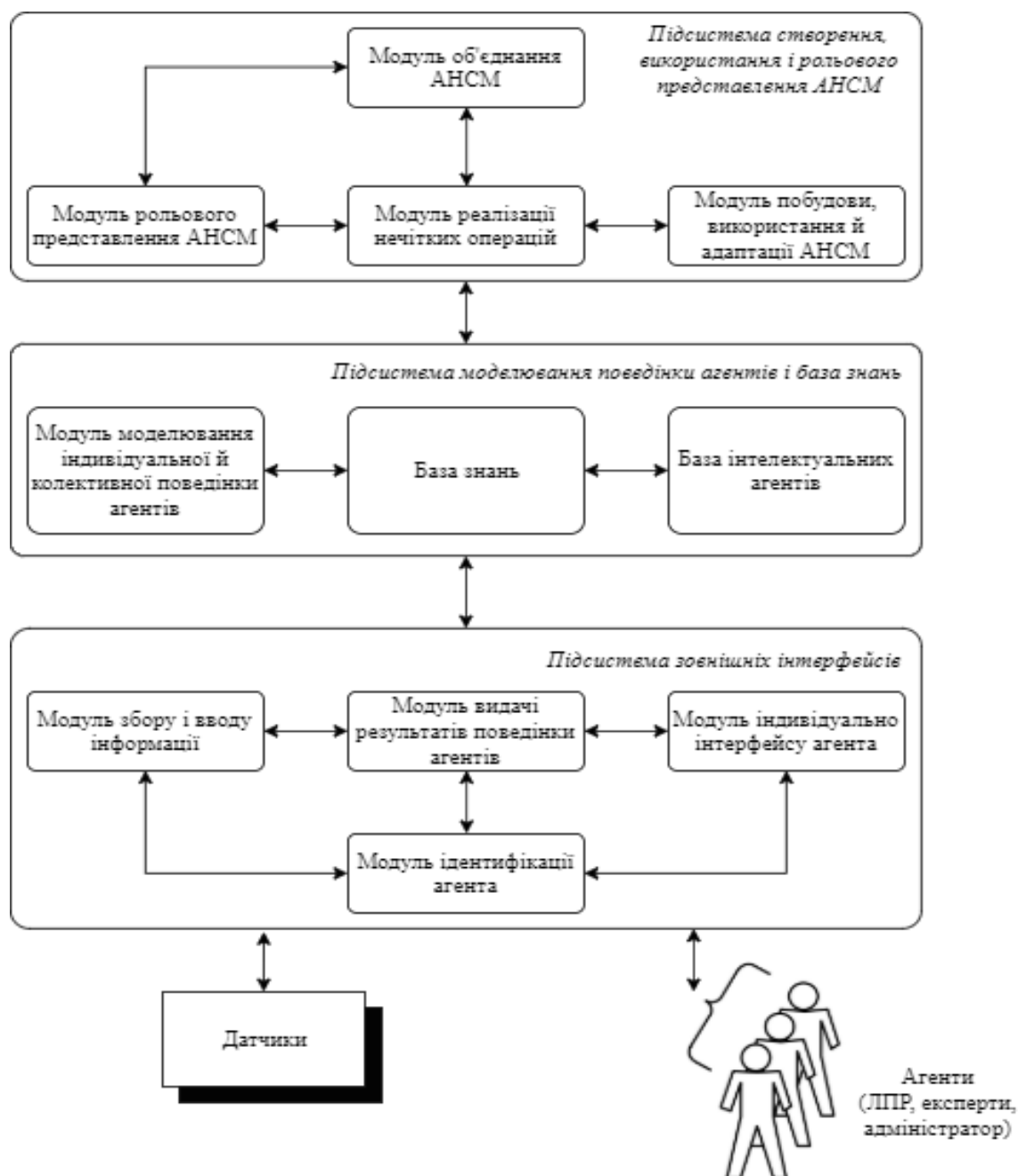


Рисунок 4.1 – Структура програмних засобів моделювання індивідуальної й колективної поведінки інтелектуальних агентів на основі АНСМ

Підсистема створення, використання й рольового представлення АНСМ містить у собі наступні модулі:

- модуль побудови, використання й адаптації АНСМ;
- модуль реалізації нечітких операцій;
- модуль об'єднання АНСМ;
- модуль рольової представлення АНСМ.

Модуль побудови, використання й адаптації АНСМ призначений для програмної реалізації наступних розроблених алгоритмів:

- алгоритм прямої ітеративної побудови АНСМ;
- алгоритм зворотної ітеративної побудови АНСМ;
- алгоритм використання АНСМ;
- алгоритм пошуку й ідентифікації поточної ситуації;
- алгоритм застосування послідовності керуючих рішень до поточної ситуації;
- алгоритм пошуку маршрутів в АНСМ;
- алгоритм адаптації АНСМ (генерації й додавання в мережу нових ознак, ситуацій, що управляють рішень і переходів);
- алгоритм оцінки маршруту досягнення цільової ситуації.

Модуль реалізації нечітких операцій призначений для реалізації основних нечітких операцій, необхідних для роботи алгоритмів, включаючи: нечітка рівність; нечітке включення; нечітка g - q -спільність; нечітку композицію; фазифікацію; дефазифікацію; арифметичні операції над неічіткими числами, множинами й відносинами.

Модуль об'єднання АНСМ призначений для програмної реалізації алгоритмів, що здійснюють об'єднання двох і більш АНСМ в одну узагальнену мережу.

Модуль рольового представлення АНСМ призначений для індивідуального представлення для конкретного агента тих компонентів АНСМ, які йому доступні відповідно до його ролі при взаємодії з іншими агентами й при моделюванні поведінки.

Підсистема моделювання поведінки агентів і база знань містить у собі наступні модулі:

- модуль моделювання індивідуальної й колективної поведінки агентів;
- базу знань;
- база інтелектуальних агентів.

Модуль моделювання індивідуальної й колективної поведінки агентів забезпечує взаємодія всіх підсистем і модулів, координує їхню спільну роботу, обробляє дані від користувачів (агентів), здійснює запис і доступ до даних з бази знань, забезпечує виклик відповідних алгоритмів для їхньої обробки й передачу результатів даної обробки на користувацький рівень.

База знань містить інформацію про предметну область, необхідну для побудови АНСМ і роботи з нею у формалізованому виді, а також надає програмний доступ до цих даних і визначає формат їх зберігання.

База інтелектуальних агентів служить для зберігання інформації про агентів, їхню кількість, структуру, параметри і завдання кожного окремого агента.

Підсистема зовнішніх інтерфейсів забезпечує взаємодію програмних засобів із зовнішніми датчиками й агентами. Кожен агент у залежності від повноважень може характеризуватися певним набором ролей, кожна з яких дозволяє йому доступ до окремих фрагментів АНСМ, її компонентам, а також до переліку можливих дій з нею. На підставі цих ролей формується так зване рольове представлення АНСМ для даного агента (користувача), а також інтерфейс взаємодії з ним.

Первинним етапом роботи агента із програмною системою є його ідентифікація, реалізована модулем ідентифікації користувача. На підставі введених логіна й пароля визначається перелік його ролей. У залежності від ролей допоміжні модулі формують і виводять на екран індивідуальне представлення АНСМ і підсистему інтерфейсів, що включає:

- модуль збору і вводу інформації, що надає можливості по додаванню нових даних про предметну область, а також відповідальний за надання доступу до необхідного функціонала;

- модуль видачі результатів поведінки, що здійснює виведення результатів моделювання індивідуальної й колективної поведінки інтелектуальних агентів;
- модуль індивідуального інтерфейсу агента, відповідальний за виведення на термінальне обладнання АНСМ для даного агента й дозволяючий/забороняючий редагування даної мережі.

4.2 Опис реалізації алгоритмів

Схема алгоритму способу прямої побудови адаптивної нечіткої ситуаційної мережі наведено на рисунку 4.2.

Блок 12 відповідає «кроку назад» способу прямої побудови АНСМ. Підмережа S_{rem} містить у собі всі вершини вихідного графа мережі за винятком вершин, з яких або в які не можна потрапити з початкової вершини S_{beg} поточного переходу $u_{s_{beg}, s_{end}}$.

Блок 13 – «крок уперед» алгоритму – на даному кроці виконується пошук і вибір маршрутів між усіма парами вершин сформованого в блоці 12 підграфу S_{rem} і занесення результатів $Path^{(s_{beg}, s_{end})}$ в $Paths$.

Для одержання верхньої оцінки складності алгоритму необхідно розглянути складність виконання блоку 13, пов'язаного з пошуком найкоротших шляхів у мережі. У випадку використання алгоритму Флойда–Уоршелла складність відповідає $O(G^3)$, де G – кількість нечітких ситуацій з множини S . Даний блок виконується в циклі для кожного керуючого переходу Y раз (потужність множини керуючих переходів U). Таким чином, верхня оцінка складності алгоритму – $O(G^3 Y)$.

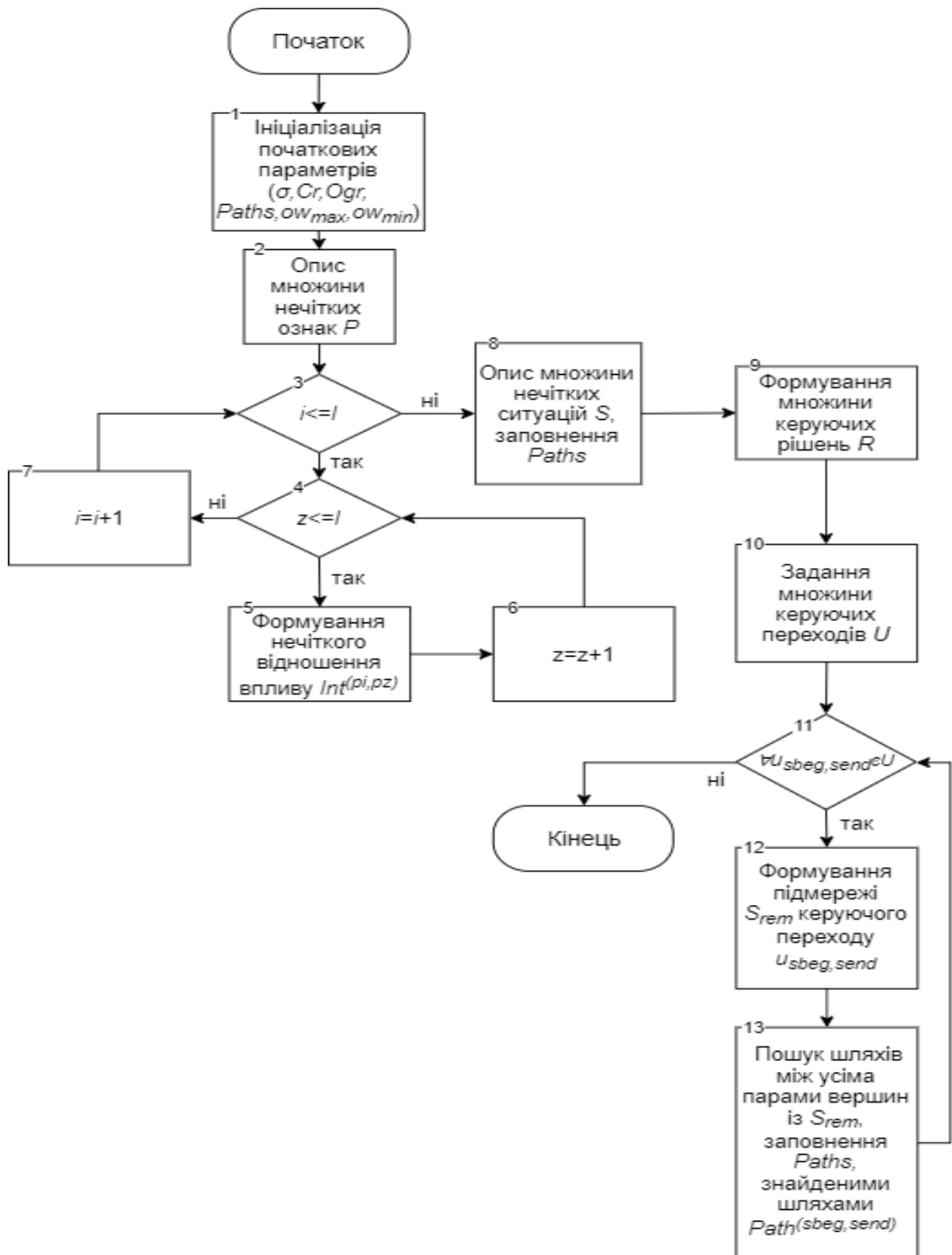


Рисунок 4.2 – Алгоритм способу прямої побудови АНСМ

Алгоритм адаптації АНСМ полягає в загальному випадку в додаванні в мережу нових ситуацій і керуючих переходів, складається з розглянутих ні-же узагальнених кроків.

Крок 1 – визначаються параметри цільової ситуації s_{targ} і необхідність генерації нових керуючих переходів (якщо цільової ситуації немає в мережі, вона недосяжна або недосяжна в рамках заданих умов);

Крок 2 – визначається (g-q)-спільність цільової ситуації s_{targ} і всіх ситуацій s_h мережі. За винятком s_{targ} для кожної s_h визначається множина ознак P_{q_i} , по яких s_h і s_{targ} не є нечітко рівними, а також потужність цієї множини q_i .

Крок 3 – проводиться вибір ситуації $S_b = \{s_{b_1}, s_{b_2}, \dots, s_{b_l}\}$, що є найближчими до цільової ситуації s_{targ} , тобто для яких $q_i = \min(q_1, q_2, \dots, q_G)$, де G – кількість ситуацій у мережі. У якості найближчої поточної ситуації вибирається ситуація $s_{bl} = s_{b_1}$.

Крок 4 – для ситуації s_{bl} визначається число необхідних керуючих переходів для переміщення з s_{bl} в s_{targ} як q_i . У якості поточної ситуації s_{tek} вибирається s_{bl} .

Крок 5 – формується новий керуючий перехід, що виходить із ситуації s_{tek} , він «навантажується» керуючим рішенням, що змінюють значення однієї з ознак множини P_{q_i} , а також вагою цього рішення.

Крок 6. Формується нова ситуація s_{temp} у мережі, у яку сформований перехід переводить ситуацію s_{tek} . Якщо це цільова ситуація s_{targ} переходимо до кроку 7, інакше в якості s_{tek} вибирається згенерована ситуація s_{temp} , і здійснюється перехід до кроку 5.

Крок 7. Перевіряється, чи сформовані всі шляхи, що відповідають усім можливим послідовностям керуючих рішень із множини P_{q_i} , з поточної найближчої до цільової ситуації s_{b_1} , обраної на кроці 3. Якщо ні, то переходимо до кроку 4, не змінюючи s_{b_1} , інакше – до кроку 8.

Крок 8. Якщо розглянуті всі ситуації з S_b , процедура завершується, інакше переходимо до наступної ситуації із цієї множини $s_{bl} = s_{b_j}$ ($j = 2, \dots, l$) (до кроку 4).

У деталізованому вигляді цей алгоритм наведено на рис. 4.3.

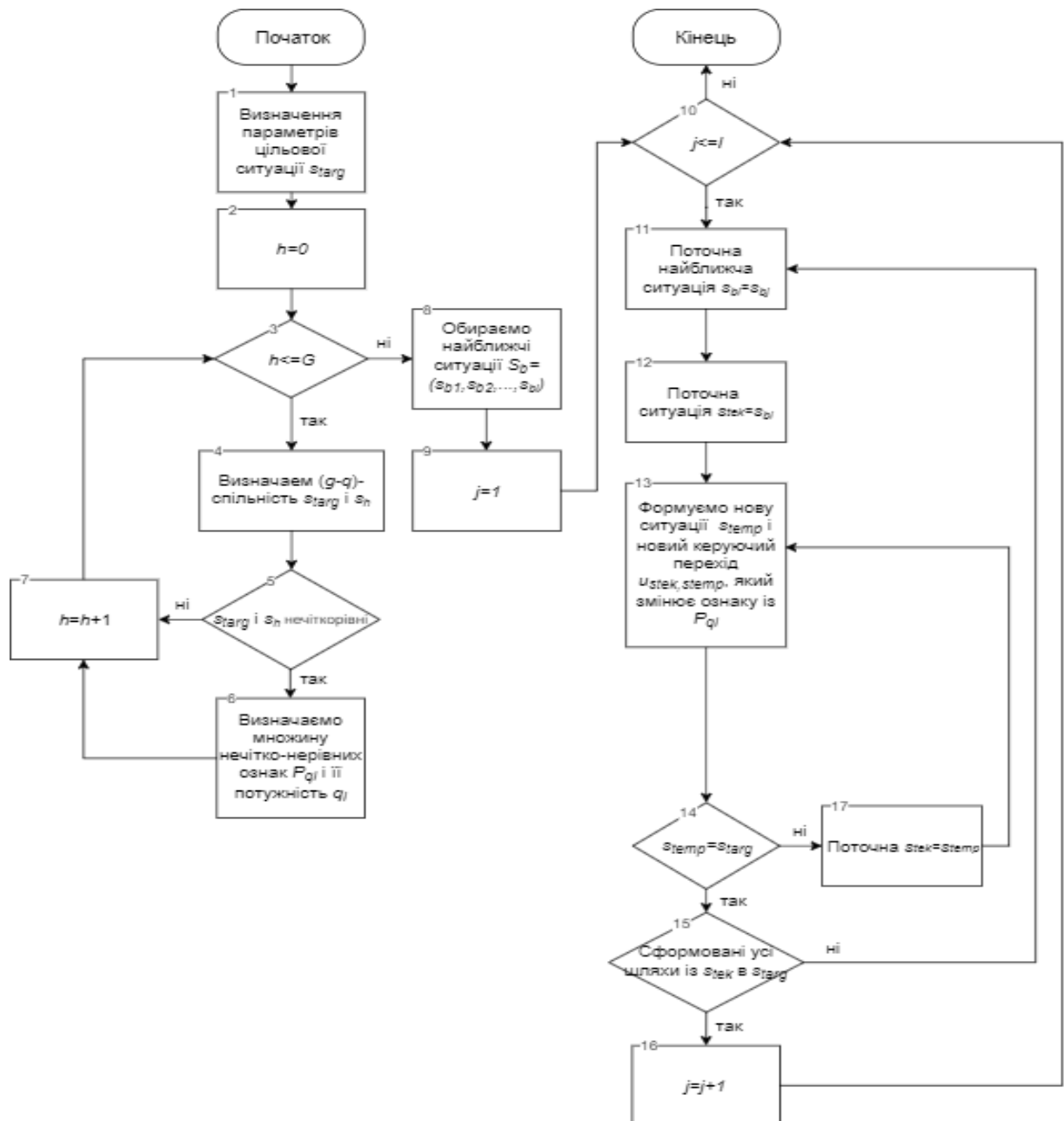


Рисунок 4.3 – Алгоритм адаптації АНСМ

4.3 Реалізація алгоритм моделювання індивідуальної поведінки

Схема алгоритму моделювання індивідуальної поведінки інтелектуальних агентів наведено на рисунку 4.4.

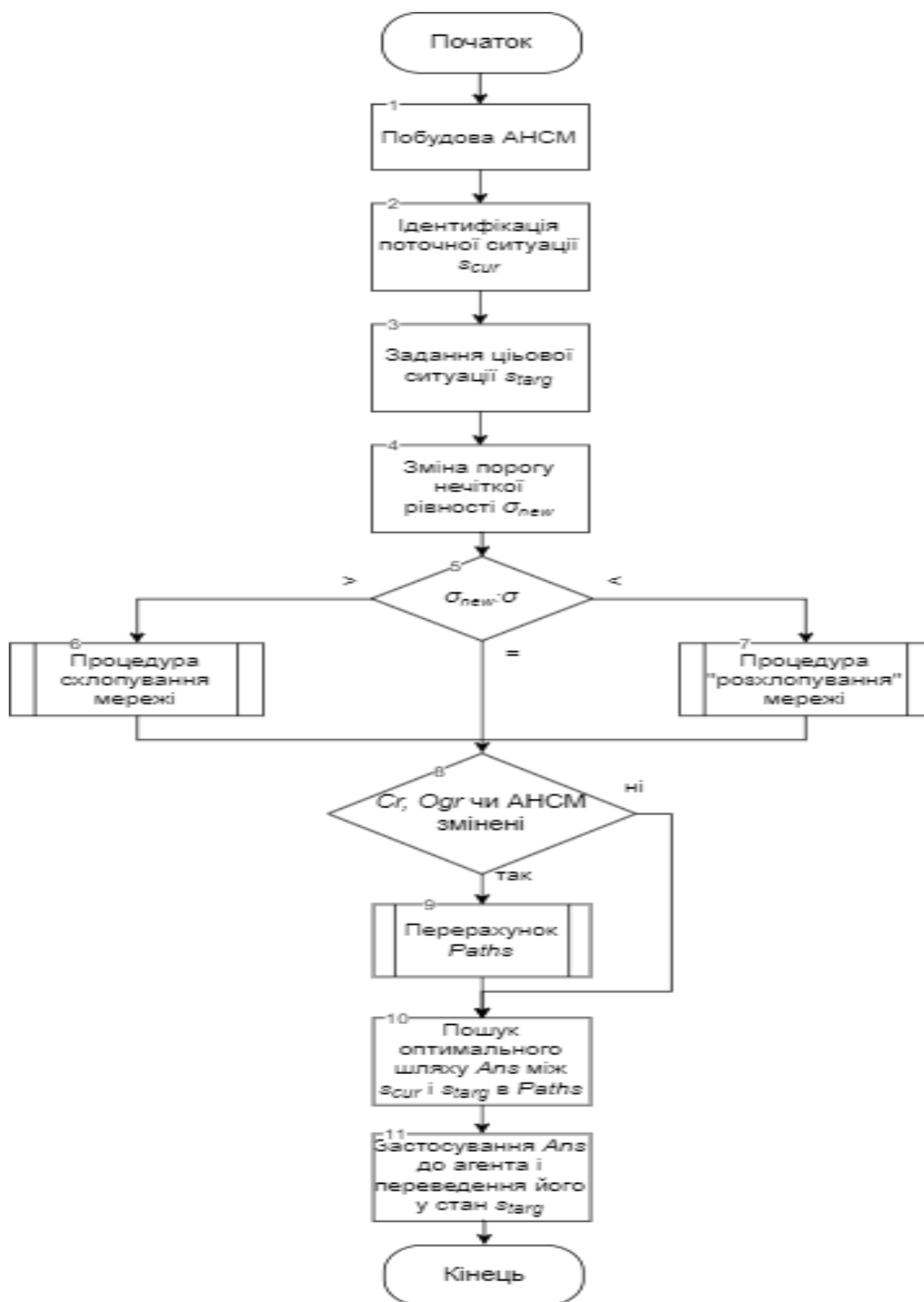


Рисунок 4.4 – Схема алгоритму моделювання індивідуальної поведінки інтелектуальних агентів

На оцінку складності алгоритму найбільшою мірою впливає складність виконання блоку 1, що пов'язаний з побудовою АНСМ і виконуваним у його

рамках пошуком найкоротших шляхів у мережі. У випадку використання алгоритму Флойда–Уоршелла складність відповідає $O(G^3)$, де G – кількість нечітких ситуацій з множини S . Верхня оцінка складності цього алгоритму – $O(G^3Y)$.

Алгоритм пошуку й ідентифікації поточної (а також цільової) ситуації в АНСМ заснований на визначенні g - q -спільності ситуацій і містить у собі в узагальненому виді перераховані нижче кроки.

Крок 1. Завдання чітких або нечітких значень усіх ситуаційних ознак $P = \{p_1, p_2, \dots, p_I\}$ ситуації s_{temp} .

Крок 2. У випадку якщо на попередньому етапі зазначені чіткі значення ознак, виконується обчислення нечітких значень усіх термів нечітких ознак на підставі введених значень. У результаті буде отримана ситуація s_{temp} :

$$s_{temp} = \left\{ \begin{array}{c} \left\{ \left(\mu_{\tilde{p}_1}(T_1'^{p_1})/T_1^{p_1} \right), \left(\mu_{\tilde{p}_1}(T_2'^{p_1})/T_2^{p_1} \right), \dots, \left(\mu_{\tilde{p}_1}(T_{J_1}'^{p_1})/T_{J_1}^{p_1} \right) / p_1 \right\}, \\ \dots \\ \left\{ \left(\mu_{\tilde{p}_I}(T_1'^{p_I})/T_1^{p_I} \right), \left(\mu_{\tilde{p}_I}(T_2'^{p_I})/T_2^{p_I} \right), \dots, \left(\mu_{\tilde{p}_I}(T_{J_I}'^{p_I})/T_{J_I}^{p_I} \right) / p_I \right\} \end{array} \right\}$$

Крок 3. Пошук відповідної ситуації в АНСМ. Для цього ситуацію s_{temp} потрібно зрівняти з усіма ситуаціями за допомогою операції g - q -спільності:

$$\forall h \in \{1, \dots, G\}: \vartheta_{g-q}(s_h, s_{temp}) = \bigwedge_{p_i \in P \setminus P_q} \theta(\mu_{s_h}(p_i), \mu_{s_{temp}}(p_i)).$$

Якщо $\forall h \in \{1, \dots, G\}: \vartheta_{g-q}(s_h, s_{temp}) \geq \sigma$, де σ – заданий поріг рівності, то ситуації s_h і s_{temp} мають g - q -спільність (вони фактично нечітко рівні). І ситуація s_{temp} є шуканою поточною ситуацією s_{cur} .

Якщо $\forall h \in \{1, \dots, G\}: \vartheta_{g-q}(s_h, s_{temp}) < \sigma$, то ситуації співпадаючої із заданими значеннями ознак в АНСМ немає й необхідно повторити їхнє введення для визначення поточної ситуації s_{cur} .

Алгоритми об'єднання адаптивних нечітких ситуаційних мереж містить в собі побудову загальної АНСМ:

$$АНСМ_{new} = \langle P_{new}, S_{new}, R_{new}, U_{new}, Int_{new}, Roles_{new}, Adapt_{new}, Paths_{new} \rangle,$$

на підставі АНСМ користувачів:

$$AHCM_1 = \langle P_1, S_1, R_1, U_1, Int_1, Roles_1, Adapt_1, Paths_1 \rangle \text{ і}$$

$$AHCM_2 = \langle P_2, S_2, R_2, U_2, Int_2, Roles_2, Adapt_2, Paths_2 \rangle,$$

виконується в такий спосіб.

Крок 1 – в АНСМ агентів виділяються підмножини ситуацій S_{com_1} і S_{com_2} , загальних для двох мереж.

Крок 2. Задається множина ознак P_{new} загальної мережі $AHCM_{new}$:
 $P_{new} = P_1 \cup P_2$.

Крок 3 – визначається множина керуючих рішень $R_{new} = R_1 \cup R_2$.

Крок 4 – формується множина нечітких ситуацій $s_{new} = S_1 \cup S_2$. При цьому ситуаціям $S_{ht} \in S_{com_1}$ привласнюються нульові значення нечітких ознак $P_{dif} = P_{new}/P_1$, що входять до складу тільки АНСМ іншого агента. Аналогічна процедура виконується й з нечіткими ситуаціями $s_{ht} \subset S_2$.

Крок 5: визначається множина керуючих рішень $U_{new} = U_1 \cup U_2$.

Крок 6: визначається множина ролей $Roles_{new} = Roles_1 \cup Roles_2$.

Крок 7: Задається множина нечітких відносин впливу ситуаційних ознак один на одного $Int_{new} = Int_1 \cup Int_2$.

Крок 8 – загальні ситуації S_{com_1} і S_{com_2} порівнюються один з одним на основі операції нечіткої g-q-спільності. У результаті буде отримана множина нечітких ознак P_{g-q} , значення яких у даних ситуаціях різняться. Якщо P_{g-q} порожнє, то ситуації S_{com_1} і S_{com_2} поєднуються в одну ситуацію s_{new} , інакше в АНСМ генеруються й додаються нечіткі керуючі переходи $U_{add}(U_{new} = U_{new} \cup U_{add})$ і при необхідності нові проміжні ситуації $S_{add}(S_{new} = s_{new} \cup S_{add})$ змінюючи значення ознак із P_{g-q} , що й дозволяють перейти із ситуацій S_{g1} в S_{g2} і навпаки.

Розглянуто зворотну задачу формування АНСМ агента $AHCM_{ag} = \langle P_{ag}, S_{ag}, R_{ag}, U_{ag}, Int_{ag}, Roles_{ag}, Adapt_{ag}, Paths_{ag} \rangle$ на підставі загальної $AHCM = \langle P, S, R, U, Int, Roles, Adapt, Paths \rangle$. Даний алгоритм ґрунтується на призначенні для кожного агента АНСМ певної ролі $Roles_{ag} \subset Roles$. Даний алгоритм містить у собі наступні кроки.

Крок 1 – визначається перелік ролей агента $Roles_{ag} \subset Roles$, для якого будується АНСМ.

Крок 2 – формуються множини компонентів $АНСМ_{ag}$, які зв'язані ролями

$$Roles_{ag} : P_{ag} \subset P, S_{ag} \subset S, R_{ag} \subset R, U_{ag} \subset U, Int_{ag} \subset Int.$$

Крок 3 – виконується «стиск» сформованої $АНСМ_{ag}$, наприклад, за допомогою операцій нечіткої рівності ситуацій для об'єднання нечітко близьких ситуацій.

4.4 Реалізація динаміки поведінки агентів

Агенти виконують дії й взаємодіють один з одним у динаміці. Кожна їхня дія забирає певний час. Для забезпечення коректності моделювання їх поведінки з урахуванням цієї динаміки необхідно враховувати: час, затрачуване на виконання кожної дії агентом; момент початку виконання дії; ситуацію, у якій перебував агент у момент початку виконання дії. Для кожного керуючого переходу $u_{s_{beg}, s_{end}} \in U$ показується час його виконання $Time_{s_{beg}, s_{end}}$.

Програмно облік часу реалізується за допомогою об'єкта таймера *Timer*. Уводиться один загальний для всієї системи об'єкт таймера *TimerGl*, котрий використовується для рахунку загального часу моделювання, а також свій об'єкт таймера створюється на кожну подію, у якості якого використовується спрацьовування керуючого переходу мережі. Таймер *TimerGl* запускається при першій події, тобто при першій вказівці цільової ситуації одному з агентів, даний момент вважається за момент часу «0» моделювання.

Для кожного агента створюється й у процесі моделювання заповнюється U початковий момент часу задаються початкові ситуації для всіх агентів. Для кожного з них записується відповідний рядок у таблицю. У даному рядку в колонку «Момент часу» записується «0» (початковий стан) і в стовпчик «Поточна ситуація» – початкова ситуація агента.

Приклад станів агентів наведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Приклад таблиці станів агента

Момент часу	Поточна ситуація	Керуючий перехід	Час виконання
0	s_1	u_{s_1, s_3}	50
...	...	...	...
350	s_{20}	$u_{s_{20}, s_{16}}$	10

При початку виконання дії агентом у відповідну йому таблицю заноситься новий рядок, де в стовпчик «Момент часу» заноситься поточний час моделювання (полічене по таймеру *TimerGl*), у стовпчик «Поточна ситуація» – ситуація, у якій агент перебуває в цей момент часу, у стовпчик «Виконувана дія» заноситься активований керуючий перехід, через який буде переходити агент у наступний стан відповідно до керуючого рішення, і час виконання буде записаний в колонкові «Час виконання». У момент початку дії агента запускається окремий таймер події *TimerEv* з інтервалом, рівним часу виконання відповідного дії. По його спрацьовуванню в таблицю буде занесений ще один рядок, у який буде записаний момент закінчення дії в «Момент часу» і ситуація, у яке перейшов агент у результаті керуючого переходу «Поточна ситуація».

Таким чином, по даній таблиці можна визначити ситуацію, у якій агент перебував у кожний момент модельного часу. Надалі дану інформацію можна використовувати для відстеження й дозволу ситуацій конкуренції й конфлікту між агентами. У кожний момент часу моделювання при початку виконання дії агентом можна перевірити, не чи зайнята кінцева для його дії ситуація, зв'язана, наприклад, з обмеженим загальним ресурсом, іншим агентом. І у випадку її зайнятості – визначити час, поки вона буде заблокована. Після закінчення цього часу агент зможе перейти в дану ситуацію.

У кожний момент часу *CurTime* моделювання може бути отриманий набір $CurState(CurTime) = \{StateAg_1(CurTime), StateAg_2(CurTime), \dots, StateAg_{AgCount}(CurTime)\}$, де *AgCount* – кількість взаємодіючих агентів, $StateAg_1(CurTime)$ –

поточна ситуація агента ($l \in \{1, \dots, AgCount\}$) у момент *CurTime* . Модельний час задається таймером *TimerGl* і вибирається, виходячи зі специфіки моделювання.

4.5 Розробка інтерфейсу програмного засобу

Інтерфейс програмних засобів розроблявся з урахуванням вимог стандартів. Погоджений користувацький інтерфейс забезпечує економію часу користувача й дозволяє захистити користувача від помилок при використанні програми. Аналіз запропонованої модульної структури програмних засобів показує необхідність залучення експертів у предметній області, що розглядається, для побудови АНСМ. Внаслідок цього виникає необхідність розмежування ролей користувачів.

Розроблено діаграми діяльності й варіантів використання. Під даними на діаграмах розуміються інформація про нечіткі ознаки, тер-мах, нечітких ситуаціях, керуючих рішеннях, графові АНСМ.



Рисунок 4.5 – Діаграма варіантів використання

На рис. 4.6 представлено діаграму діяльності для пошуку маршруту в АНСМ.

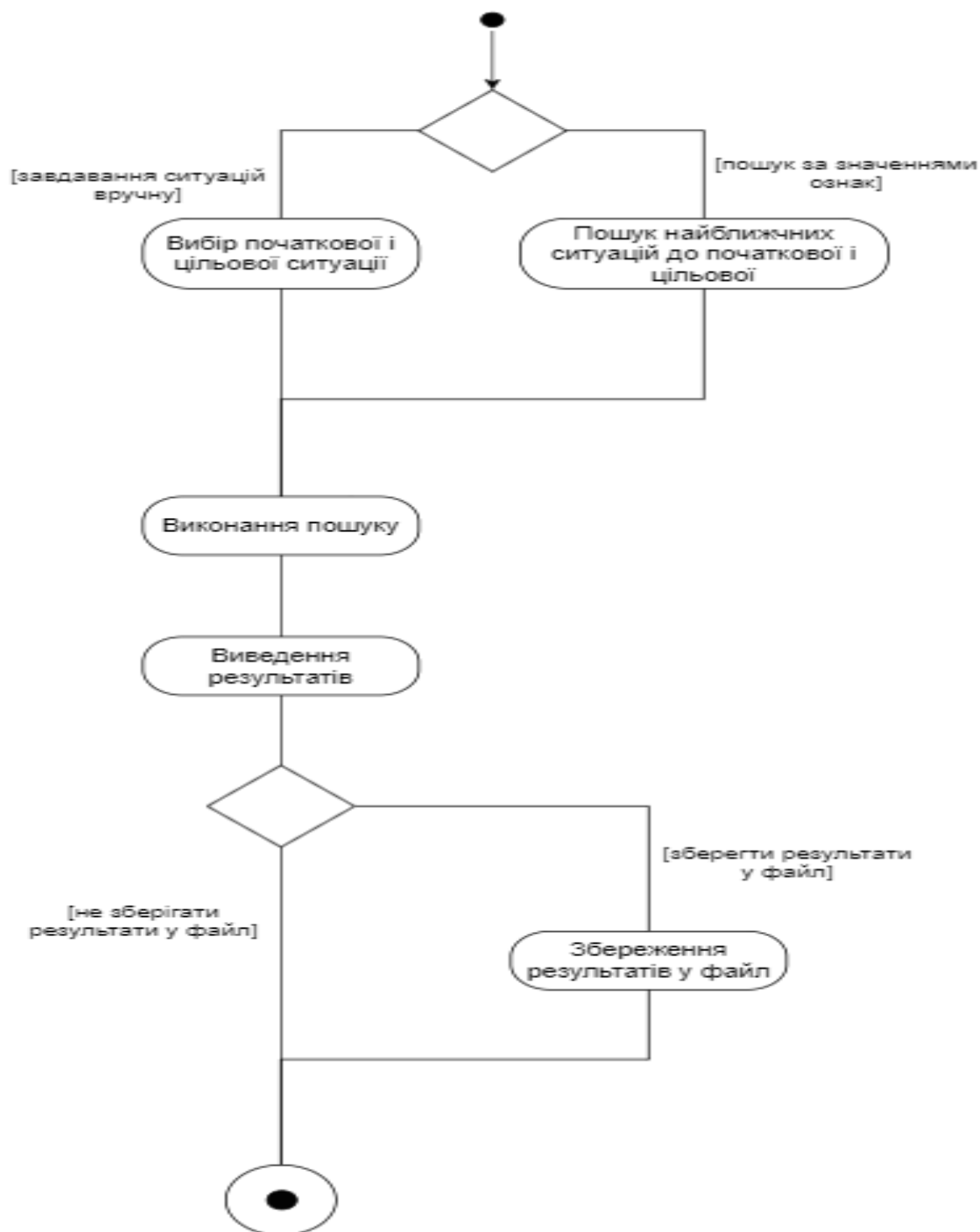


Рисунок 4.6 – Діаграма діяльності для варіанту
«Пошук маршруту в АНСМ»

На рис. 4.7 зображена діаграма діяльності для варіанта використання «Робота з даними».

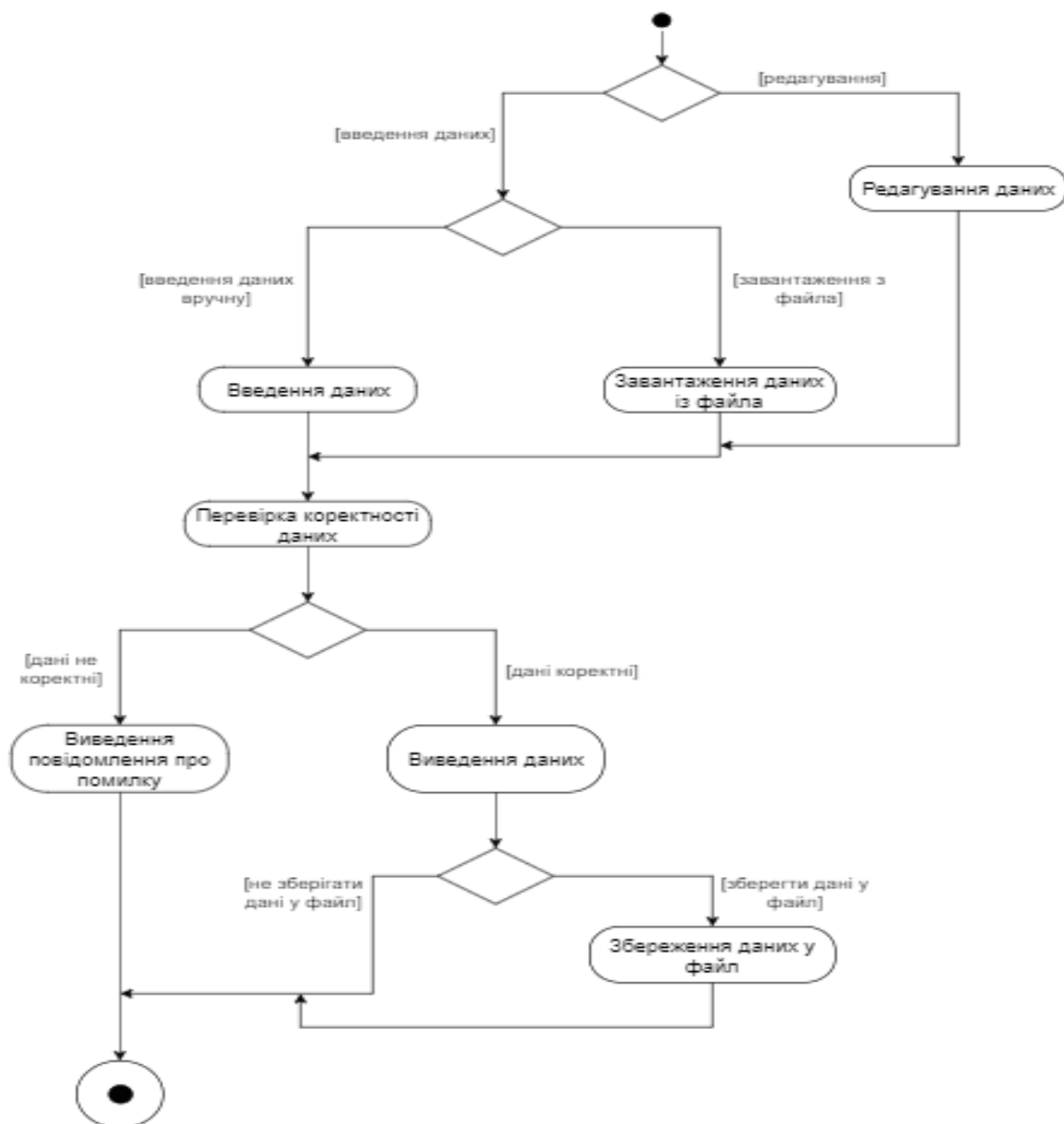


Рисунок 4.7 – Діаграма діяльності для варіанта «Робота з даними»

Таким чином, розроблена структура програмних засобів моделювання індивідуальної й колективної поведінки ІА на основі АНСМ, що включає в себе: підсистему створення, використання й рольового представлення АНСМ (що складається з модулів: побудови, використання й адаптації АНСМ; реалізації нечітких операцій; об'єднання АНСМ; рольового представлення АНСМ); підсистему моделювання поведінки агентів і базу знань; підсистему зовнішніх інтерфейсів.

Розроблені й розглянуті алгоритми, що реалізують запропоновані способи побудови АНСМ і методи моделювання індивідуальної й колективної поведінки інтелектуальних агентів, включаючи алгоритми:

- прямої й зворотної побудови АНСМ;
- адаптації АНСМ;
- об'єднання АНСМ агентів;
- пошуку й ідентифікації поточної ситуації в АНСМ;
- моделювання індивідуальної й колективної поведінки ІА.

Розглянуті питання програмної реалізації системної динаміки при моделюванні ситуативної поведінки ІА на основі АНСМ.

Розроблено прототип програмного продукту технології обробки й зберігання інформації, що включає у себе механізми й реалізацію процесів збереження, зберігання й завантаження даних про АНСМ із файлів.

Розроблено діаграми варіантів використання й діяльності, що описують користувацький інтерфейс і процес взаємодії з користувачем.

5 ОПИС МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

5.1 Приклад моделі поведінки інтелектуальних агентів

Для моделювання поведінки агентів виконується завдання підтримки логістичних рішень при виробництві, зберіганні й видачі виробів в деякому виробничому підприємстві. На рисунку 5.1 проілюстровані відповідні логістичні процеси.

Вироби, наявні на складі або, такі, що перебувають у виробництві, після формування замовлення резервуються для замовника, тобто стають недоступними для інших замовлень. Підприємство здійснює випуск двох видів виробів. Для кожного із цих видів виробів необхідно здійснювати контроль кількості виробів: замовленого замовниками; що перебувають у виробництві й наявних на складі; зарезервованих на складі; зарезервованих у виробництві.

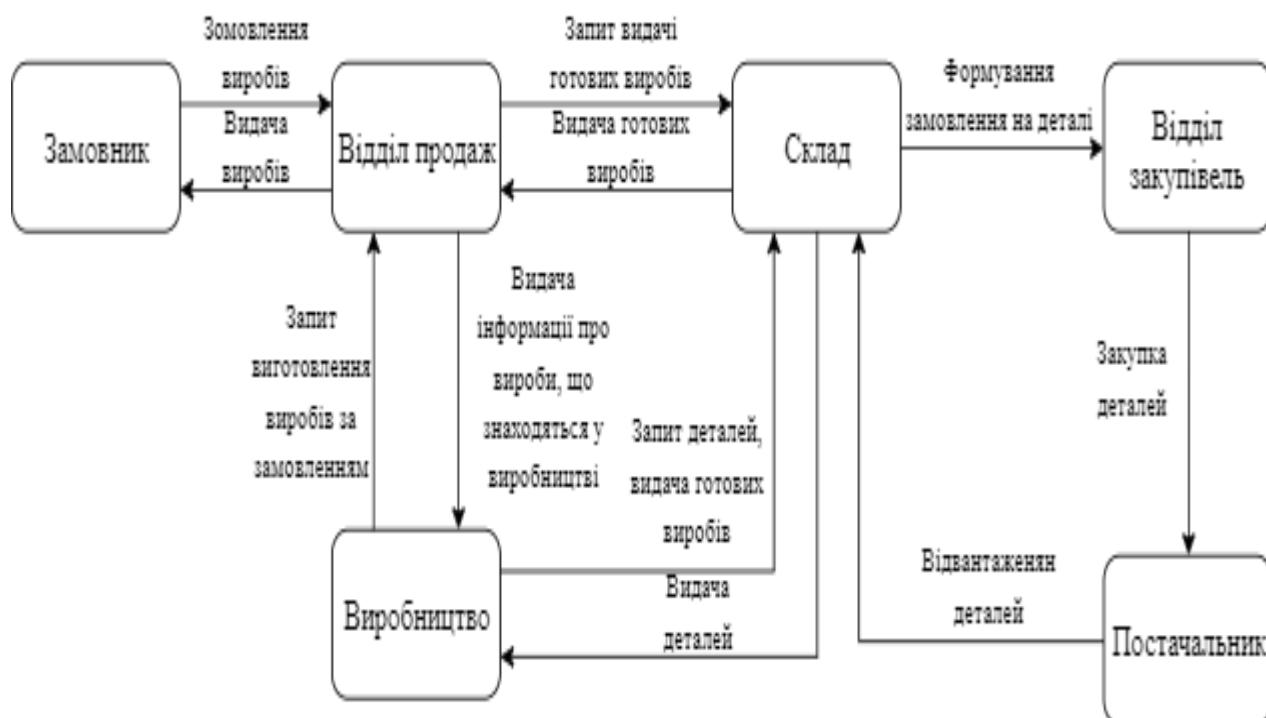


Рисунок 5.1 – Ілюстрація логістичних процесів при виробництві, зберіганні й видачі виробів в виробничому підприємстві

Наведено узагальнений опис цих логістичних процесів.

Крок 1. Замовник формує для відділу продажів замовлення на певний вид виробів, що випускаються.

Крок 2. Менеджер відділу продажів запитує на складі інформацію про наявні залишки замовлених виробів.

Крок 3. Якщо виробів на складі досить, то перехід до кроку 11, інакше, менеджер здійснює запит інформації про, що перебувають у виробництві необхідних виробів.

Крок 4. Якщо залишків на складі виробів, що й перебувають у виробництві, не вистачає для виконання замовлення, то менеджер запитує виробництво про недостатню кількість виробів.

Крок 5. Виробництво запитує на складі деталі, необхідні для виготовлення необхідних виробів.

Крок 6. Якщо на складі недостатньо деталей, то формується запит про закупку відсутньої кількості цих деталей відділу закупівель.

Крок 7. Відділ закупівель здійснює закупівлю, постачальник здійснює відвантаження деталей на склад.

Крок 8. Запитані виробництвом деталі передаються йому зі складу.

Крок 9. Після завершення виробництва готові вироби передаються на склад.

Крок 10. Склад видає виробу менеджерів відділу продажів для передачі їх замовникові.

Крок 11. Менеджер видає замовлені вироби замовникові.

5.2 Аналіз прикладу співпраці штучних агентів

Для кожного виду виробів визначений склад, тобто набір деталей (комплектуючих і видаткових матеріалів), необхідних для їхнього виробництва.

Для кожного різновиду необхідних деталей ведеться облік кількості на складі, у виробництві й уже замовлених.

На підприємстві встановлюються норми на мінімальну кількість наявних на складі деталей і виробів. При невідповідності цим нормам здійснюється запуск виробництва відсутнього кількості виробів і замовлення необхідних для цього деталей.

Ціна кожного виду виробів визначається на підставі цін деталей необхідних для його виробництва, а також певного відсотка націнки.

Для реалізації логістичних процесів кожному структурному підрозділу підприємства відповідає агенти (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Відповідність структурних підрозділів підприємства й агентів

№	Структурний підрозділ	Агент
1	Відділ продажів	Менеджер
2	Склад	Комірник
3	Виробництво	Начальник виробництва
4	Відділ закупівель	Менеджер відділу закупівель
5	Підприємство в цілому (крім агентів замовників і постачальників)	Агент-субордінатор – директор підприємства

Замовник у перелік агентів не включається, а його потреба в певному вигляді виробів представляється у вигляді зовнішнього впливу на агента «Менеджер».

Постачальники також не представлені в переліку агентів. Їхня активність відображена у вигляді деякого зовнішнього об'єкта, якому передають запити агенти типу «Менеджер відділу закупівель». У свою чергу, цей зовнішній об'єкт по даному запиту надає інформацію («ресурс» у вигляді деталей, що замовляються) агентам типу «Комірник».

Усі описані агенти взаємодіють один з одним. У таблиці 4.2 представлені «укрупнені» типи взаємодій між агентами. Наприклад, при виконанні «Заходів», менеджери конкурують один з одним за загальний ресурс, що розподіляється,

«Замовлення покупця», яке формується в результаті зовнішнього впливу замовників.

Таблиця 5.2 – Типи взаємодій між агентами

	Менеджер	Комірник	Начальник виробництва	Менеджер відділу закупівель
Менеджер	Конкуренція	Співробітництво	Співробітництво	Незалежність
Комірник	Співробітництво	Співробітництво	Співробітництво	Співробітництво
Начальник виробництва	Співробітництво	Співробітництво	—	Незалежність
Менеджер відділу закупівель	Незалежність	Співробітництво	Незалежність	Співробітництво

Передбачається, що на підприємстві є один агент типу «Начальник виробництва». Агент «Директор підприємства» не представлений, тому що він здійснює керівництво всіма агентами (крім замовників і постачальників – з ними в нього взаємодія типу «незалежність»), і його АНСМ містить у собі АНСМ усіх інших типів агентів і відповідає узагальненій АНСМ. Для нього має реалізується моделювання індивідуальної поведінки. Кількість інших агентів визначається чисельністю персоналу підприємства, задіяних в описаних логістичних процесах. Кожному співробітникові відповідає свій інтелектуальний агент і АНСМ.

ВИСНОВКИ

У результаті атестаційної роботи магістра вирішене наукове завдання, яке полягає у розробці методів і алгоритмів моделювання індивідуальної й колективної поведінки інтелектуальних агентів на основі адаптивних нечітких ситуаційних мереж.

Виконано аналіз завдань і методів моделювання ситуативного поведінки інтелектуальних агентів. Проведений аналіз методів, що базуються на ситуаційному підході, а також існуючих нечітких ситуаційних мереж для моделювання поведінки інтелектуальних агентів.

Проаналізовано актуальний клас математичних моделей – адаптивні нечіткі ситуаційні мережі, орієнтовані на моделювання індивідуальної й колективної поведінки інтелектуальних агентів, що й відрізняються від існуючих моделей можливістю гнучкої зміни компонентів мереж у процесі їх побудови й використання; способом обліку нечітких відносин впливу ситуаційних ознак один на одного при впливі керуючих рішень; розмежуванням повноважень агентів по доступу до різних компонентів мережі з можливістю моделювання ситуативної поведінки агентів для різних типів взаємодії в рамках єдиної моделі; пошуком і вибором керуючих рішень і їх послідовностей відповідно до різних критеріїв і обмеженнями як при побудові, так і при адаптивній зміні АНСМ.

Запропоновано алгоритм моделювання індивідуальної поведінки інтелектуальних агентів, що відрізняється: застосуванням адаптивних нечітких ситуаційних мереж; пошуком і вибором послідовностей керуючих рішень для переходу агента з поточної ситуації в цільову на основі модифікованих пошукових алгоритмів залежно від різних критеріїв і обмежень при побудові й зміні мережі, що дозволяє підвищити якість підтримки прийняття рішень, заснованих на результатах такого моделювання.

Розроблені алгоритми, що реалізують запропоновані способи побудови АНСМ і методи моделювання індивідуальної й колективної поведінки

інтелектуальних агентів, включаючи алгоритми: прямої й зворотної побудови АНСМ, адаптації АНСМ, пошуку й ідентифікації поточної ситуації в АНСМ, об'єднання АНСМ агентів, моделювання індивідуальної й колективної поведінки агентів.

Створено прототип програмного засобу моделювання індивідуальної й колективної поведінки інтелектуальних агентів на основі АНСМ, наведено практичний приклад використання в якості підтримки логістичних рішень.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1 Алгоритм кластеризации *k-means* // Электронный ресурс // URL: <http://robocraft.ru/blog/computervision/1061.html> (дата звернення 20.03.20 р.)
- 2 Айвазян С. А., Бухштабер В. М., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика. – 2009.
- 3 Афонин А.А., Крейнс М.Г. Кластеризация текстовых коллекций: помощь при содержательном поиске и аналитический инструмент // Сборник научных статей «Интернет-порталы: содержание и технологии». Выпуск 4 / ФГУ «Информика». – М.: Просвещение. – 2007. – С. 510-537.
- 4 Барсегян А. А. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data mining. / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. – СПб. : БХВ-. – 2014.
- 5 Басакер Р., Саатн Т. Конечные графы и сети. Перевод с английского. – М: Наука. – 2003.
- 6 Библиотека работы с DOM HTML-документов для C# // Электронный ресурс // URL: <http://htmlagilitypack.codeplex.com/> (дата звернення 20.03.20 р.)
- 7 Воронцов К. В., Колосков А. О. Профили компактности и выделение опорных объектов в метрических алгоритмах классификации // Искусственный интеллект. – 2016. № 2. – С. 30-33.
- 8 Воронцов К. В. Лекции по алгоритмам кластеризации и многомерного шкалирования // Электронный ресурс URL: <http://www.ccas.ru/voron/download/Clustering.pdf> (дата звернення 28.02.20 р.)
- 9 Гайдишев И. Анализ и обработка данных: специальный справочник. – СПб.: Питер – 2011. – 752 с.
- 10 Гулин В.В. Исследование и разработка методов и программных средств классификации текстовых документов // Электронный ресурс URL:

<http://www.mpei.ru/LANG/RUS/Publish/InfoAcadCncl/2013/GulinVV.pdf> (дата звернення 25.03.20 р.)

11 Дунаев Е. В. Автоматическая рубрикация web-страниц в интернет-каталоге с иерархической структурой / Е. В. Дунаев, А. А. Шелестов // Интернет-математика 2005. Автоматическая обработка веб-данных. – М. 2005. – С. 382-398 .

12 Bien J., Tibshirani R. Hierarchical Clustering With Prototypes via Minimax Linkage // Journal of the American Statistical Association. 2011 // Електронний ресурс // URL: <http://faculty.bscb.cornell.edu/~bien/papers/jasa2011minimax.pdf> (дата звернення 22.03.20 р.)

13 Chakrabarti S. Mining the web: discovering knowledge from hypertext data. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers. – 2019.

14 Easily parse HTML Documents in C# // Електронний ресурс // URL: <http://olussier.net/2010/03/30/easily-parse-html-documents-in-csharp/> (дата звернення 22.02.20 р.)

15 Kogan J. Introduction to Clustering Large and High-Dimensional data. – N. Y. : Cambridge University Press. – 2006.

16 Robertson S. Understanding Inverse Document Frequency: on theoretical arguments for IDF // Journal of Documentation, 2014, №5. – P. 503-520

17 Филлипс Д. Методи аналізу мереж / Д. Филлипс, А. Гарсія-Діас. – М. : Мир, 1984. – 496 с.

18 Глушенкова І. С. Прийняття рішень у системах керування земельними ресурсами / І. С. Глушенкова // Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку : зб. тез допов. міжнар. наук.-практичн. конф. (березень 2010). – Х. : Академія внутрішніх військ МВС України, 2010. – С. 71–72.

19 Глушенкова І. С. Формальна модель прийняття рішень про стан складних об'єктів / І. С. Глушенкова // Інформаційно-Керуючі системи і комплекси : зб. тез допов. міжнар. наук.-техніч. конф. (квітень 2018). – Миколаїв : ІАЕ НУК, 2018. – С. 51

20 Штучна нейронна мережа. URL:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Штучна_нейронна_мережа (дата звернення:
 20.04.2020)

21 AutoDraw By Google Creative Lab. URL:
<https://experiments.withgoogle.com/chrome/autodraw/> (дата звернення: 20.04.2020)

22 DeepDream. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/DeepDream> (дата
 звернення: 20.02.2020)

23 This Person Does Not Exist. URL: <https://thispersondoesnotexist.com/> (дата
 звернення: 23.04.2020)

24 A Neural Network for Machine Translation, at Production Scale. URL:
<https://research.googleblog.com/2016/09/a-neural-network-for-machine.html> (дата
 звернення: 20.02.2020)

25 Добро пожаловать в блог DeepL! URL:
<https://www.deepl.com/blog/20180215.html> (дата звернення: 16.04.2020)

26 Кластерний аналіз. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Кластерний_аналіз
 (дата звернення: 16.03.2020)

27 Shostak I., Matyushenko I., Romanenkov Yu., Danova M., Kuznetsova Yu.
 Computer Support for Decision-Making on Defining the Strategy of Green IT
 Development at the State Level. In book: Green-IT Engineering: Social, Business and
 Industrial Applications, Vol. 171. Berlin, Heidelberg: Springer International Publishing,
 533–559 (2018), <https://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4>

28 Shostak I., Kapitan R., Volobuyeva L., and Danova M., Ontological
 Approach to the Construction of Multi-Agent Systems for the Maintenance Supporting
 Processes of Production Equipment. In Proc. : IEEE International Scientific and
 Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology»
 (PICS&T-2018). Ukraine, Kharkiv, October 9-12, 2018. P. 209 – 214