

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет інформаційних технологій
Кафедра системного аналізу та управління

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

кваліфікаційної роботи ступеня магістра

Студента: Соколовського Михайла Валентиновича

Академічної групи: 124м-22-1

Спеціальності: 124 Системний аналіз

На тему: «Моделювання розв'язків задачі динамічного комівояжера з різними пріоритетами цілей»

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	<u>к.т.н., доц. Мінеєв О.С.</u>			
розділів:				
Інформаційно-аналітичний розділ	<u>к.т.н., доц. Мінеєв О.С.</u>			
Спеціальний розділ	<u>к.т.н., доц. Мінеєв О.С.</u>			
Рецензент	<u>д.т.н., проф. Алексєєв М.А.</u>			
Нормоконтролер	<u>к.ф.-м.н., доц. Хом'як Т.В.</u>			

Дніпро

2023

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
Системного аналізу та управління
(повна назва)
_____ к. т. н., доц. Желдак Т.А.
(підпис) (прізвище, ініціали)
«__» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня магістра

Студенту: Соколовському Михайлу Валентиновичу

Академічної групи: 124м-22-1

Спеціальності: 124 Системний аналіз

На тему: «Моделювання розв'язків задачі динамічного комівояжера з різними пріоритетами цілей»

Розділ	Зміст завдання	Термін виконання
Інформаційно-аналітичний розділ	<i>Розглянути існуючі постановки задачі, обрати найбільш близьку до реальних умов. Провести бібліографічне дослідження відомих рішень задачі почергового переслідування та обмежень цих рішень.</i>	20.11.02023
Спеціальний розділ	<i>Запропонувати алгоритм послідовного переслідування групи цілей динамічним комівояжером Сформулювати та вирішити задачі багатокритеріального вибору поточної цілі переслідування. Розробити алгоритм роботи інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень переслідувача Виконати моделювання групового переслідування, зробити висновки</i>	11.12.2023

Завдання видано

_____ (підпис)

к. т. н., доц. Мінеєв О.С.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі: 01 вересня 2023 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії: 12 грудня 2023 р.

Прийнято до виконання

_____ (підпис)

Соколовський М.В.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 77 с., 12 рис., 11 табл., 39 джерел, 3 додатка.

Мета кваліфікаційної роботи: розробити систему підтримки прийняття рішень динамічним комівояжером для максимізації його ефективності в багатокритеріальному просторі рішень.

Об'єкт дослідження: система з одного динамічного комівояжера (переслідувача), який намагається вразити певну кількість цілей (переслідуваних) за мінімальний час.

Предмет дослідження: розробка алгоритму поведінки переслідувача на основі критеріїв вибору цілі, що змінюються в часі.

В роботі на площині досліджується проста диференціальна гра переслідувача та коаліції втікачів. Платою служить сумарний час, що витрачається переслідувачем на зближення з кожним з втікачів до відстані $R \geq 0$. Розглядається питання про вибір порядку переслідування в кожен момент часу.

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було отримано кілька практичних результатів, що використовуються в роботі інтелектуальної СППР дій переслідувача, а саме моделі руху втікачів та переслідувача, процедури прийняття рішень про вибір поточної цілі переслідування та визначення поточного напрямку руху, тощо. Виконаний порівняльний аналіз процесів вибору поточної цілі методом пропорційної згортки критеріїв та методом аналізу ієрархій, отримані результати свідчать про правильність обраного підходу до вирішення задачі.

Практична цінність отриманих в роботі результатів полягає у розробці прототипу ІС ППР переслідувачем щодо вибору поточної цілі переслідування. Вбудованим модулем системи є процедура визначення поточного курсу з урахуванням обмеження на керуючий вплив маневреність).

МОДЕЛЮВАННЯ, ДИФЕРЕНЦІАЛЬНА ГРА, ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ,

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА, ПОЧЕРГОВЕ ПЕРЕСЛІДУВАННЯ, ВИБІР,
ДИНАМІЧНИЙ КОМІВОЯЖЕР, КЕРУВАННЯ.

THE ABSTRACT

Explanatory note: 77 pages, 12 figures, 11 tables, 39 references, 3 appendices.

The goal of the qualification work is to develop a decision support system for a dynamic traveling salesman to maximize its efficiency in a multi-criteria solution space.

The research object is a system with a single dynamic traveling salesman (pursuer) who tries to hit a certain number of targets (evaders) in minimal time.

The subject of the research is the development of a behavior algorithm for the pursuer based on changing target selection criteria over time.

The work investigates a simple differential pursuit game on a plane and the coalition of evaders. The objective is to minimize the total time spent by the pursuer to approach each evader within a distance $R \geq 0$. The question of choosing the order of pursuit at each moment in time is considered.

As a result of the qualification work, several practical results were obtained, which are used in the operation of the intelligent decision support system for the pursuer, namely models of motion for evaders and the pursuer, decision-making procedures for selecting the current pursuit target and determining the current direction of movement, etc. A comparative analysis of the processes of choosing the current target using the proportional folding criteria method and the analytic hierarchy process method was performed, and the results indicate the correctness of the chosen approach to solving the problem.

The practical value of the obtained results in the work lies in the development of a prototype of an intelligent decision support system for the pursuer in terms of selecting the current pursuit target. An embedded module of the system is a procedure for determining the current course taking into account the constraint on the control influence (maneuverability).

MODELLING, DIFFERENTIAL GAME, DECISION-MAKING,

INTELLIGENT SYSTEM, ROUND-ROBIN PURSUIT, SELECTION, DYNAMIC TRAVELING SALESMAN, CONTROL.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	11
1.1 ДИФЕРЕНЦІАЛЬНІ ІГРИ ПЕРЕСЛІДУВАННЯ	11
1.2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДИНАМІЧНОГО КОМІВОЯЖЕРА ТА ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ В РЕАЛЬНИХ УМОВАХ.....	15
1.3 РАЦІОНАЛЬНА ПОВЕДІНКА ПЕРЕСЛІДУВАЧА ТА ВТІКАЧІВ.....	21
1.4 МЕТОД АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ У ПРИЙНЯТТІ РІШЕНЬ	27
1.5 СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ.....	31
1.6 ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	35
2 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	38
2.1 КРИТЕРІЇ ВИБОРУ ПОТОЧНОЇ ЦІЛІ ДИНАМІЧНОГО КОМІВОЯЖЕРА.....	38
2.2 ВИЗНАЧЕННЯ ПРІОРИТЕТУ ЦІЛІ МЕТОДОМ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ	43
2.3 СТРАТЕГІЇ ПОВЕДІНКИ ВТІКАЧІВ У ГРУПІ.....	49
2.4 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СППР ДИНАМІЧНОГО КОМІВОЯЖЕРА.....	53
2.5 ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ.....	59
2.6 ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ	62
ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68
ДОДАТОК А.....	72
ДОДАТОК Б	73
ДОДАТОК В	75

ВСТУП

Одним з напрямків, що має велике значення, є так звана гра переслідування. В даній грі є переслідувач або певна кількість переслідувачів, і певна кількість переслідуваних.

В даній кваліфікаційній роботі розглянемо задачу почергового переслідування (ігрова задача динамічного комівояжера), в якій критерієм якості є сумарний час затримання всіх втікачів. Задача складається з двох нерозривно пов'язаних частин – перша для визначення порядку затримання, друга - безпосереднє переслідування при заданому порядку обслуговування.

Об'єктом дослідження в роботі є система з одного динамічного комівояжера (переслідувача), який намагається вразити певну кількість цілей (переслідуваних) за мінімальний час.

Предметом дослідження є розробка алгоритму поведінки переслідувача на основі критеріїв вибору цілі, що змінюються в часі.

Мета кваліфікаційної роботи – розробити систему підтримки прийняття рішень динамічним комівояжером для максимізації його ефективності в багатокритеріальному просторі рішень.

В роботі використовується *метод* аналізу ієрархій, що дозволяє обирати ту чи іншу ціль задля найшвидшого затримання всіх переслідуваних не тільки в залежності від пріоритетів цілей за критеріями, а й за пріоритетами самих критеріїв у різні моменти часу. Також в роботі використано *метод* інтелектуальних систем, а саме використання фреймових моделей баз знань для опису образу поточної цілі переслідування в уявленні особи, що керує переслідувачем, а також продукційної моделі висновку для визначення ролей втікачів у групі.

В роботі поставлені й вирішені наступні *наукові та практичні задачі*:

- розглянуті існуючі постановки задачі дослідження, обрано найбільш близьку до реальних умов постановку;
- проведено бібліографічне дослідження відомих рішень задачі поведінкового переслідування та обмежень цих рішень;
- запропоновано алгоритм послідовного переслідування групи цілей динамічним комівояжером;
- сформовано та вирішено задачу багатокритеріального вибору поточної цілі переслідування;
- розроблено алгоритм роботи інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень переслідувача;
- виконано моделювання групового переслідування, зроблено висновки.

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було отримано кілька практичних результатів, що використовуються в роботі інтелектуальної СППР дій переслідувача:

- модель руху групи втікачів з урахуванням їх ролі в групі, наявності зони безпеки та поточного стану;
- процедура оцінки ролі в групі втікачів переслідувачем за результатами спостережень їх дій в процесі переслідування;
- процедура багатокритеріального прийняття рішень про вибір поточної цілі переслідування на основі визначених критеріїв.
- процедура визначення поточного напрямку руху з урахуванням поведінки переслідуваної цілі та обмежень на керуючий вплив переслідувача.

Крім перелічених алгоритмічних розробок, виконаний порівняльний аналіз процесів вибору поточної цілі двома методами – методом лінійної згортки критеріїв та методом аналізу ієрархій. Отримані результати продемонстрували збіжність методів, що свідчить про правильність обраного підходу до вирішення задачі.

Практична цінність отриманих в роботі результатів полягає у розробці прототипу інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень переслідувачем щодо вибору поточної цілі переслідування. Вбудованим модулем системи є процедура визначення поточного курсу з урахуванням обмеження на керуючий вплив (маневреність).

1 ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Диференціальні ігри переслідування

У своїй повсякденній та професійній діяльності людина часто стикається з іграми переслідування. Починаючи з дитячого "квача" і закінчуючи охороною кордонів та громадського порядку – скрізь маємо картину, коли один чи декілька переслідувачів намагаються наздогнати одного чи декількох втікачів або ж переслідуваних.

У загальному випадку переслідувача позначають через P - від англійської *Pursuer*, а переслідуваного через E - від англійського *Evader*. Відповідні об'єкти, що рухаються, можуть управлятися людиною або автоматично. У більш складних випадках учасників гри може бути більше двох, наприклад група бойових літаків протистоїть ескадрі ворожих бомбардувальників або — уже з іншої області — у футболі група захисників протистоїть нападникам з м'ячем.

У загальному випадку P та E — розумні супротивники із протилежними інтересами. Але якщо кожний з них управляє лише одним об'єктом, що рухається, то символами P та E будуть позначатися самі ці об'єкти. Так, P може бути деякою фіксованою крапкою переслідувача, наприклад, його геометричним центром (але не його *положенням* — цей термін позначає також напрямок, швидкість і всі ті величини, які є фазовими координатами).

Гра переслідування звичайно вважається закінченою, коли відбувся *захоплення*. Це означає, що відстань PE стає меншою якоїсь наперед заданої позитивної величини.

За E звичайно приймають ворожий бомбардувальник, літак або керований снаряд, а за P - перехоплювач, інший літак або снаряд. По-перше, запитується: як оптимально повинен P переслідувати E ? Далі, якщо в кожен момент часу P знає й своє положення й положення E , то як він повинен у цей момент змінюва-

ти наявні в його розпорядженні засоби керування? Під положенням слід розуміти не тільки координати точок P та E , але й інші величини, які описують стан обох об'єктів: напрямок польоту, орієнтація, швидкість, коротше — фазові координати.

По-друге, потрібно визначити, що означає «оптимально». По термінології теорії ігор необхідно вибрати плату. Критерій найбільш очевидний, якщо захоплення завжди здійснюється. У тому випадку, коли інтерес представляють тільки два результати гри (або інше скінчене число), будемо говорити про проблему як про певну *гру якості* (на відміну від *ігор ступеня*, які мають континуум можливих результатів). Але P може бути перехоплювачем з обмеженим запасом пального. Тоді найбільш реальний критерій повинен ґрунтуватися на тому, чи зможе відбутися захоплення раніше певного моменту часу. Якщо E — бомбардувальник, ціль якого — досягнення даного об'єкта, то найцікавішим є питання, чи зможе бути здійснений захоплення перш, ніж E виконає своє призначення. Якщо P використає снаряди, ракети або іншу подібну зброю, то захоплення полягає в тому, щоб виявитися в зоні досяжності E . Якщо ж P не впевнений, що потрапить у ціль точно, він може ставити своїм завданням перебування в зоні досяжності E протягом певного часу.

Всі вищеописані випадки відповідають дискретній, точніше, бінарній платі, і ми будемо класифікувати відповідні їм ігри, як ігри якості. Але бувають випадки, коли супротивники прагнуть мінімізувати або максимізувати певну змінну величину. Ця величина також є *платою*, але гра вже має назву гри ступеня.

Часто як плата вдається вибрати таку безперервну величину, що вона автоматично містить у собі описаний вище дискретний критерій. Наприклад, припустимо, що нас цікавить тільки одне питання: чи може бути здійснене захоплення? В якості плати можна взяти час захоплення, причому мета P — зробити цей час по можливості меншим, а мета E — по можливості більшим. Нескінченний час відповідає випадку, коли захоплення не здійснене.

Тоді, якщо P діє відповідно до цього "оптимального" плану, він, звичайно, досягне своєї основної мети щораз, коли захоплення здійснене. При цьому він зробить це за найкоротший час.

Тепер припустимо, що спочатку метою P було здійснити захоплення за час, що не перевершує деякого фіксованого T (наприклад, час, через який закінчиться пальне). Мінімізуючи час захоплення, переслідувач, зрозуміло, досягне успіху, якщо в нього є для цього можливість; потрібно лише знайти мінімальну величину часу захоплення, якої зміг домогтися P , і подивитися, перевершує ця величина T чи ні.

Інший випадок описує гру з точки зору переслідуваного. Якщо, скажімо, дискретний критерій полягає у тому, зможе чи ні E досягти певної наближеності до деякого об'єкта, у якості плати можна вибрати відстань до об'єкта в момент захоплення. Маючи на увазі, що P прагне максимізувати цю відстань, можна бути впевненим, що він не тільки виконає своє завдання захисту об'єкта, якщо це можливо, але й досягне найбільшого резерву безпеки або ж зробить усе, що в його силах, якщо він виявиться не в змозі порушити плани E .

Отже, відповіддю на питання, що означає в описаних іграх «оптимальне рішення», є встановлення чисельного значення плати. Для ігор якості це можна зробити дещо штучно, приписавши два (або більше) числові значення величині плати для двох (або більше) результатів. «Оптимально» для P означає зробити цю плату якнайменшою).

Припустимо, що плата обрана. Постає наступне питання – як P повинен мінімізувати її? Якщо він переслідує снаряд E , як йому діяти? Чи найкращим буде рух, коли переслідувач, наприклад, використовуючи дані про положення E , намагається екстраполювати майбутній рух E та маневрує таким чином, аби перепинити тому шлях?

Відповідь на подібне питання не може бути знайдена заздалегідь і визначається у рівній мірі як поведінкою залежить від того, як буде поводитися E . Якщо він прийняв наївне рішення рухатися по прямій з постійною швидкістю, те

P , зрозуміло, зможе перепинити йому шлях, причому досить просто підрахувати, як це зробити щонайкраще. Але якщо P завжди буде діяти так, то E , якщо він досить проникливий, може легко порушити плани P , почавши обманний маневр і тим самим заманивши P у пастку. Таким чином, жоден план переслідування не може бути визнаний заздалегідь оптимальним, якщо супротивник рухається довільно.

Із цього витікає, що не можна говорити про оптимальне переслідування, не визначивши, що таке оптимальне відхилення. Необхідно одночасно розглядати всілякі способи поведінки обох супротивників, для того аби розробити методи аналізу ігрових ситуацій.

Оптимальне відхилення можна класифікувати так само, як оптимальне переслідування. Всі зауваження, зроблені вище відносно P и його мети переслідування, зберігають свій зміст і для E с його метою відхилення. Наприклад, ми могли б (і дійсно будемо) говорити про способи уникнути захоплення або принаймні попередити його до настання часу T . Якщо за плату прийняти відстань до об'єкта в момент захоплення, то можна обговорювати питання про те, як E повинен максимізувати цю відстань. У певних ситуаціях, зрозуміло, обидві сторони розглядають обидва класи цих питань. Вище обговорювалися завдання гри й поняття плати тільки з погляду переслідувача P , але це робилося лише для того, щоб полегшити опис.

Задачі переслідування є типовими прикладами диференціальних ігор. Теорія диференціальних ігор розглядає задачі оптимального управління об'єктом у конфліктних ситуаціях, а також у ситуаціях, коли на об'єкт впливає перешкода, яка відіграє роль одного з гравців. У ряді випадків задача полягає в знаходженні оптимального гарантованого управління об'єктом, що забезпечує оптимальний гарантований результат, який може досягти гравець при найбільш несприятливих діях суперника.

Засновником теорії диференціальних ігор став Р. Айзекс, який вперше визначив поняття "диференціальна гра" [1]. У 1951 році Р. Айзексом були отрима-

ні перші результати з диференціальних ігор. Основу розвитку теорії диференціальних ігор в СРСР і в пострадянському просторі заклали М.М. Красовський, Л.С. Понтрягин та Л.А. Петросян. У цих роботах досліджувались антагоністичні диференціальні ігри, що моделюють конфлікт між двома сторонами, що мають протилежні інтереси. У випадку, коли більше двох гравців беруть участь у грі та інтереси гравців не строго протилежні, більш природно розглядати таку гру як неантагоністичну.

В роботі Л.А. Петросяна та В.Д. Ширяєва [2] розглядається задача простого переслідування з одним переслідувачем та двома втікачами на площині.

Теорія та аспекти поведінки переслідувачів й втікачів у різних ситуаціях (різна кількість переслідувачів та втікачів, наявність або відсутність лінії життя, різні стратегії переслідування й т.і.) розглянуті в роботах [3-12]. Зокрема, відомі роботи Маслова Є.П., Шевченка І.І., Абрамянца Т.Г., Чикрия А.А., Бердишева Ю.І., Ченцова А.Г., які розвивали дані теорію в Україні та країнах СНД.

1.2 Постановка задачі динамічного комівояжера та її використання в реальних умовах

У кваліфікаційній роботі досліджується задача простого переслідування з одним переслідувачем і кількома втікачами. Серед схожих задач повне рішення відоме тільки в задачі переслідування на площині з одним переслідувачем і двома втікачами при додатковому припущенні, що переслідувач використовує стратегію паралельного зближення і не змінює порядок переслідування в процесі гри [13].

Об'єкт називається керованим, якщо його стан визначається вектором деякого фазового векторного простору, а рух описується векторним диференціальним рівнянням

$$\dot{x} = f(x, u), \quad (1.1)$$

де x — вектор, який визначає стан об'єкта, \dot{x} - похідна вектора x за часом, а u - керуючий параметр, який є не числом, а точкою деякої множини. Рівняння (1.1) задає не конкретний рух об'єкта, а його технічні можливості. Це пояснюється наявністю в рівнянні (1.1) керуючого параметра u , в якому втілюється свобода волі об'єкта. З перебігом часу керуючий параметр тим чи іншим способом отримує певні значення і в кінцевому рахунку стає відомою функцією часу, так що рівняння (1.1) можна вирішувати.

В окремому випадку, коли ми маємо справу з механічним об'єктом, частина координат вектора x визначає геометричне положення об'єкта, а інші координати задають швидкості зміни геометричних координат.

У задачі про переслідування розглядаються два об'єкти: об'єкт x з рівнянням (1.1) та об'єкт y з рівнянням

$$\dot{y} = g(y, v), \quad (1.2)$$

який має інший фазовий простір і з іншим керуючим параметром v . Задача переслідування полягає в тому, що втікач y рухається відповідно до своїх технічних можливостей, тобто в силу рівняння (1.2), у кожний момент часу використовуючи свою свободу волі (свободу вибору параметра v), а об'єкт x прагне якомога швидше наздогнати y , рухаючись в силу рівняння (1.1) і використовуючи всю свою свободу волі для якнайшвидшого піймання об'єкта y , при цьому об'єкт x у кожен момент часу знає лише свій стан, стан об'єкта y в той же момент часу і, можливо, значення керуючого параметра v , але він ні в якому разі не може знати подальшої поведінки y . Переслідування вважається завершеним у момент, коли об'єкти x і y геометрично співпадуть, тобто тоді, коли геометричні координати вектора x стануть рівними геометричним координатам

вектора y .

Гра переслідування з простим рухом. Простим рухом називається такий рух, при якому відстань, пройдена точкою P з початкового стану x_0 , є лінійною функцією часу:

$$s(t) = \rho t, \quad (1.3)$$

де t - час, поки якого відбувався рух, $s(t)$ - шлях, пройдений точкою P з початкового стану x_0 за час t , а величина ρ , що являє собою шлях, прохідний точкою P в одиницю часу, називається лінійною швидкістю точки. При простому русі величина ρ є постійною і не залежить від часу.

Нехай на площині задана опукла множина S . Точки E_1, E_2, \dots, E_m і P переміщаються в S , володіючи простим рухом з *постійними* лінійними швидкостями $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_m$ і σ відповідно. Використовуючи термінологію теорії ігор, сукупність точок E_1, E_2, \dots, E_m назвемо гравцем-втікачем, а P - гравцем-переслідувачем. Рух гравців починається в момент $t = 0$ з початкових положень $E_1(0), E_2(0), \dots, E_m(0), P(0)$. Положення гравців E_1, E_2, \dots, E_m і P в момент $t \geq 0$ позначимо відповідно $E_1(t), E_2(t), \dots, E_m(t)$ і $P(t)$.

Переслідування гравцем P втікачів E починається в момент часу $t = 0$ і завершується, коли переслідувач P здійснив зустріч з E_i (координати E_i збіглися з P), $i = \overline{1, m}$. У процесі руху переслідувач P і всі втікачі E не покидають множини S . Метою P є зустріч з усіма втікачами за мінімальний час, а мета втікачів - відтягнути момент зустрічі або уникнути її, якщо це можливо.

У кожний момент часу $t \geq 0$ гравцеві P відомо своє положення і положення всіх втікачів в цей же момент часу. Кожен втікач E_i в момент часу $t \geq 0$ знає положення всіх втікачів, включаючи себе, положення гравця P , а також напрямок руху гравця P в цей момент часу t , однак йому невідомі майбутні маневри гравців E_i , тобто P не знає, коли і як будуть змінювати гравці E_i напрямок свого руху в майбутньому. Таку задачу переслідування будемо називати грою

переслідування з простим рухом і позначати $\Gamma(1, m, S)$.

Під рішенням гри $\Gamma(1, m, S)$ будемо розуміти знаходження оптимальної стратегії переслідувача P , оптимальної стратегії гравців E_i і оптимального часу переслідування.

Гра з «лінією життя». Нехай на площині задана опукла множина S , яка не збігається з площиною. Границю S позначимо буквою L і назвемо *лінією життя*. Точки E_1, E_2, \dots, E_m і P , тобто переслідувач P і втікачі E , переміщуються в S , володіючи простим рухом з постійними лінійними швидкостями $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_m$ і σ відповідно. Так само, як і в грі $\Gamma(1, m, S)$, рух P і E починається в момент $t = 0$ з положень $E_1(0), E_2(0), \dots, E_m(0), P(0)$; передбачається, що гравці P і E в кожний момент часу $t \geq 0$ володіють тією ж інформацією, що і в грі $\Gamma(1, m, S)$. Мета переслідувача P - не допустити досягнення границі - лінії життя L - гравцем E до зустрічі з переслідувачем P . Мета втікачів E - досягнення лінії життя L , при цьому уникаючи зустрічі з P до моменту досягнення L . Таку задачу переслідування з простим рухом назвемо *грою з лінією життя* і будемо позначати $G(1, m, S)$.

Стратегія паралельного зближення. Нехай переслідувач P і втікач E переміщуються на площині відповідно до простого руху з постійними лінійними швидкостями ρ і σ , $\rho \geq \sigma > 0$. Систему координат на площині виберемо таким чином, щоб у момент часу $t = 0$ гравці P і E знаходилися в положеннях $P(0) = (0, -b)$ і $E(0) = (0, 0)$, де $b = |P(0)E(0)| > 0$. Вкажемо для гравця P один спосіб переслідування гравця E .

Нехай гравець E , починаючи з моментом часу $t = 0$ переміщується по напівпрямій $\overrightarrow{[E(0), A_1]}$ (рис. 1.1, а), тобто з вектор-швидкістю $v_1 = (v_{11}, v_{12})$, $v_{11}^2 + v_{12}^2 = \sigma^2$ (рис. 1.1, б).

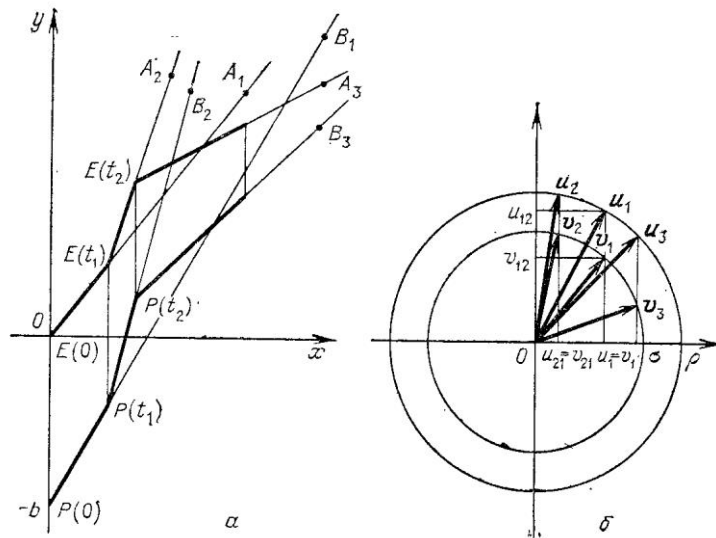


Рис. 1.1 - Стратегія паралельного зближення:

а) діаграма переміщень; б) діаграма векторів швидкості.

За умовою гри в момент часу $t = 0$ гравець P знає $P(0)$, $E(0)$ і $\overline{[E(0), A_1]}$, тобто вектор-швидкість v_1 . Поки E переміщується з вектор-швидкістю $v_1 = (v_{11}, v_{12})$, покладемо для P , починаючи з моментом часу $t = 0$, рух з вектор-швидкістю

$$u_1 = (u_{11}, u_{12}) = \left(v_{11}, \sqrt{\rho^2 - v_{11}^2} \right), \quad (1.4)$$

тобто по напівпрямій $\overline{[P(0), B_1]}$, $\overline{P(0)B_1} \uparrow\uparrow u_1$.

Нехай в момент часу $t = t_1 > 0$ гравець E вирішив змінити напрям свого руху і почав переміщуватися по деякій напівпрямій $\overline{[E(t_1), A_2]}$, тобто з вектор-швидкістю $v_2 = (v_{21}, v_{22})$, $v_{21}^2 + v_{22}^2 = \sigma^2$, при цьому припустимо, що на проміжку часу $[0, t_1]$ зустріч P з E не відбулася. Тоді, починаючи з моменту часу $t = t_1$, гравцю P покладемо рух з вектор-швидкістю

$$u_2 = (u_{21}, u_{22}) = \left(v_{21}, \sqrt{\rho^2 - v_{21}^2} \right), \quad (1.5)$$

тобто по напівпрямій $\overline{[P(0), B_2]}$, $\overline{P(0)B_2} \uparrow\uparrow u_2$.

Якщо гравець E в деякий момент часу $t_2 > t_1$ знов змінює напрям руху, то гравець P змінює напрям свого руху описаним вище способом, і т.д.

При такому способі переслідування гравцем P гравця E для всіх $t \geq 0$ (до моменту зустрічі P з E) відрізок $[P(t), E(t)]$ буде паралельним відрітку $[P(0), E(0)]$. Дійсно, при $0 \leq t \leq t_1$ з формул (1.4) і (1.5) для $P(t) = (P_1(t), P_2(t))$ і $E(t) = (E_1(t), E_2(t))$ маємо

$$E(t) = (E_1(t), E_2(t)) = (tv_{11}, tv_{12}), \quad (1.6)$$

$$P(t) = (P_1(t), P_2(t)) = (tv_{11}, t\sqrt{\rho^2 - v_{11}^2} - b), \quad (1.7)$$

тобто $P_1(t) = E_1(t)$ при всіх $0 \leq t \leq t_1$, отже, відрізок $[P(t), E(t)]$ паралельний відрітку $[P(0), E(0)]$ на цьому проміжку часу. Зокрема, $[P(0), E(0)] \parallel [P(t_1), E(t_1)]$. Проте на відрітку $[t_1, t_2]$ $u_{21} = v_{21}$, або, що те ж, $E_1(t) = P_1(t)$, отже, $[P(t), E(t)] \parallel [P(t_1), E(t_1)] \parallel [P(0), E(0)]$. При $t > t_2$ доказ проводиться аналогічно.

Такий спосіб переслідування гравцем P втікача E назвемо стратегією паралельного зближення або П-стратегією.

Якщо перейти від загальних формулювань задачі до її застосувань, то багато прикладів ігор переслідування можна привести з області військового справи: торпеда й корабель, корабель і підводний човен, ракета й бомбардувальник, танк та «джип».

На рис. 1.2 C є область розташування об'єкта, що P захищає від атакуючого ворога E ; P та E виконують простий рух з однаковою швидкістю й починають рухатися з положення, зображеного на рисунку.

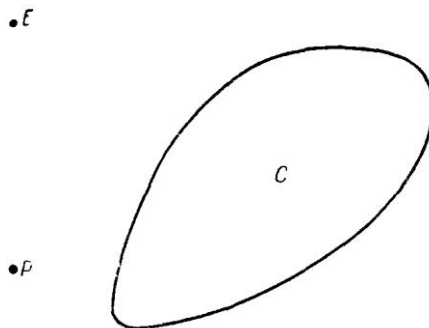


Рис. 1.2 Приклад задачі, коли P захищає зону C від ворога E

Прийmemo тут для простоти, що захоплення означає збіг точок P та E . Платою є відстань від точки захоплення до C (якщо захоплення можливе); P пови-

нен максимізувати цю відстань, а E — мінімізувати її. Якщо E може досягти C і захоплення не відбудеться, то цей результат вважається для E оптимальним. Як повинні рухатися обоє гравців?

Уявимо, що E — носій могутньої зброї, скажемо ядерної боєголовки, і якщо він не може досягти об'єкта, то прагне вибухнути можливо ближче до нього. Відповідно перехоплювач P прагне зустріти його в найбільш віддаленій від C точці.

Приведемо інший приклад, уже далеко не простий. Він являє собою гру переслідування, де один із супротивників змушений рухатися так, щоб кривизна його траєкторії не перевищувала певної величини. Це кінематичне обмеження типове і пов'язане із маневреністю об'єктів. Пізніше ми звернемося до випадку, коли подібним чином обмежені обоє супротивників, однак розгляд такого випадку не дає в принципі нічого нового й тим самим не може компенсувати зростання складності завдання.

Незважаючи на те що завдання, яке ми зараз приведемо, типове для певного класу ігор переслідування, її похмура назва ("кармагеддон"), можливо, допоможе яскравіше уявити собі сутність подібних ситуацій. Уявимо собі автомобіль на нескінченній порожній площі, що намагається наїхати на пішохода. Таким чином, розглядається гра переслідування, де P має значно більшу швидкість, але меншу маневреність в порівнянні з E .

В даній роботі буде розглядатися виключно випадок переслідування одним переслідувачем кількох втікачів, при тому, що кожен з учасників має обмеження на маневрування, а у втікачів існує область, яку можна вважати «лінією життя».

1.3 Рациональна поведінка переслідувача та втікачів

Головною відмінністю задачі, що розглядається, від більшості традиційних постановок є більш широкий вибір засобів керування як втікачів, так і переслідувача.

Розглянемо спочатку втікачів. Раніше рядом авторів [14, 15] було доведено, що при простому русі кількох втікачів, що починають рух з однієї точки (або зі скупченої області у порівнянні з відстанню до переслідувача), найкращим варіантом, що максимізує час захоплення всіх цілей, є варіант відхилитися від прямої, що проходить через їх центр мас та координати переслідувача та рівний кут. Ілюстрація цього формулювання представлена на рисунку 1.3.

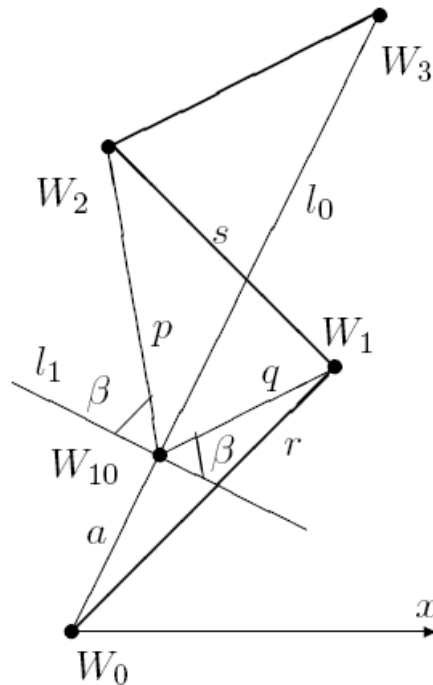


Рис. 1.3 – Максимізація часу на переслідування двох об'єктів.

В роботі [14] доведено, що в разі фіксованої послідовності переслідування (заданої наперед або ж визначеної переслідувачем під час руху) максимальний час переслідування буде досягнутий у випадку, коли на захоплення кожного з наступних втікачів переслідувач витратить не менше часу, ніж на захоплення попереднього. Якщо швидкість усіх втікачів u однакова й постійна, то умова нарощування часу на захоплення вимагає відхилення на кут $\beta = \beta_1 = \beta_2$, що задовольняє умові

$$\frac{1}{\sqrt{\sin^2 \beta + k}} - \frac{4 \sin \beta}{\sqrt{m^2 - k^2}} - \frac{1}{\sqrt{l^2 - k^2}} = 0, \quad (1.8)$$

де $l = 1/v^2 - \sin \beta$, $m = 1/v^2 + \cos 2\beta$ та $k = (1 + v^2)/v^2$ - коефіцієнти; $v = (0;1]$ - відносна швидкість переслідувача.

Таким чином, якщо цілі мають рівний пріоритет, вони мають елементарно розлітатися врізнобіч, водночас втікаючи від переслідувача, але й нарощуючи відстань одна від одної, інакше кажучи, постійно нарощуючи відстань від центру мас.

При цьому в роботі [15] доведено, що максимальний час переслідування забезпечує так звана стаціонарна стратегія ухилення, коли на початку гри всі втікачі обирають напрямок свого руху, в якому потім рухаються з максимальною швидкістю незалежно від поведінки переслідувача.

Втім, випадок, коли всі втікачі мають однакові характеристики та однако-ву важливість, є швидше модельним винятком. У більшості задач групового переслідування завжди має місце одна ціль, важливість збереження якої відчутно (іноді навіть не порівняно) вища за важливість збереження інших. Прикладами таких випадків можуть бути танкер чи лінійний авіаносець у оточенні кораблів супроводу, ватажок чи мінер заgonу терористів, тощо.

В подібних випадках характер поведінки цілей дещо інший: метою гри для коаліції переслідуваних стає збереження ватажка (гра якості), а у другу чергу – збільшення часу переслідування усіх членів групи (гра ступеню).

Раціональною поведінкою для подібної ситуації [16] є розділення групи за ролями: ватажок займається чистим втіканням (максимально збільшує відстань від переслідувача чи максимально зменшує до лінії життя), всі ж інші здійснюють розліт не тільки від центру мас, але й від самого ватажка. Метою такої поведінки має бути максимізація часу на захоплення всіх цілей-прикриттів аж до досягнення такої межі, коли на ватажка у переслідувача не залишиться часу або пального. В найкращому випадку, процес переслідування

ватажка у якості поточної цілі навіть не починається – весь вільний ресурс переслідувач використовує на відволікаючі цілі.

Суттєві зміни до вибору напрямку руху може вносити наявність області безпеки, яка може бути представлена точкою, кривою чи замкненою поверхнею. Областю безпеки може бути укриття для піших вояків, гараж чи будівля для автомобіля, причал чи гавань для човна, зона власної ПВО для літака, тощо. В разі, якщо один або більше переслідувачів мають можливість (за певних обставин) досягти зони безпеки й урятуватись, ця можливість має враховуватись у напрямку руху. При цьому чим ближчою стає лінія життя, тим більше вона має впливати на напрямок руху втікача, переважаючи всі інші міркування (роль в групі, максимізацію часу і т.і.)

Особливо яскраво роль зони безпеки має бути помітною в іграх з нерівнозначними цілями. Для вожака у випадку. Якщо його відстань до зони безпеки менша за відстань до переслідувача, поведінка останнього взагалі перестає мати значення. Решта ж переслідуваних мають звертати увагу на можливість врятуватись виключно у випадку, якщо виконали основну роль – привертання уваги переслідувача та відвернення цієї уваги від ватажка.

Підсумовуючи, слід відзначити, що раціональність поведінки переслідуваних полягає у виваженому застосуванні усіх чотирьох згаданих пріоритетів на кожному кроці прийняття рішень. При рішенні безперервної задачі повинні застосовуватись рівняння балансу пріоритетів залежно від ролі в групі, положення у фазовому просторі та поточного моменту гри.

Що ж до переслідувачів, то раціональність їх поведінки визначає паралельне рішення двох взаємопов'язаних задач. З одного боку, переслідуючи групу втікачів, слід у будь-який момент часу мати чітке ранжування (порядок захоплення), що дозволить мінімізувати загальний час переслідування. З іншого боку, переслідування кожної поточної цілі має вестись з максимальною ефективністю, враховуючи можливість її свобідного руху та свободи волі щодо зміни цього руху.

Як не дивно, але замість друга задача (зближення) є більш простою, адже докладно розглянута рядом вчених. Згідно з теоремою, доведеною Петросяном [17], мінімум часу переслідування цілі з свободою зміни напрямку руху досягається тоді, коли вектор швидкості переслідувача у будь-який момент часу спрямований по дотичній до траєкторії руху поточної переслідуваної цілі. Інакше кажучи, переслідувач має вести паралельне зближення з поточною ціллю, враховуючи її поточне вектор швидкості. У випадку неінерційних тіл з повною свободою маневру такий шлях мінімізує час захоплення цілі незалежно від того, рухається вона у постійному напрямку чи змінює цей напрямок.

Однак, більшість описаних переслідувачів, як і більшість цілей, мають якісь характеристики як маневреність та інерційність. Інакше кажучи, ані ціль, ані тим більше переслідувач, що має швидкість, більшу за швидкість цілей (необхідна умова розв'язання три $G(1, m, S)$), не може миттєво змінити напрям свого руху довільним чином. Зазвичай при фіксації швидкості та використанні відносного значення відстані обмеження маневреності використовують у вигляді ліміту на кут повороту в площині руху. Інакше кажучи, у кожній цілі, а тим паче переслідувача існує такий радіус повороту, пов'язаний з мінімальним кутом повороту в одиницю часу, в середині якого ціль недосяжна. Раціональним для переслідувачів є врахування своєї маневреності, а також маневреності цілей для уникнення ситуацій потрапляння цілі у зону недосяжності всередині кола з радіусом розвороту переслідувача.

Крім перелічених критеріїв, що визначають поведінку переслідувача з точки зору просторових координат, існує ціла низка критеріїв вищого рівня, які мають застосовуватись при виборі поточної цілі.

Все, викладене досі, вкладається у характеристику поведінки переслідувача, як "жадібного" комівояжера: використовуючи лише геометричні координати (відстань та швидкість), переслідувач завжди атакує найближчу ціль. З огляду ж на можливу інтелектуальну поведінку втікачів, подібний метод не можна визнати раціональним. Адже, подібного переслідувача легко змусити

витрачати час на неефективні цілі, допоки головна ціль виконує свою місію (бомбардування, перехід кордону, досягнення зони безпеки тощо).

В роботі пропонується враховувати крім положення цілей та напрямку їх руху кілька додаткових характеристик, які можуть значно впливати на вибір порядку переслідування.

Насамперед, до таких параметрів слід віднести максимальну швидкість кожного з переслідуваних. Як що вона суттєво відрізняється у цілей між собою, перевага має надаватися цілям з більшою власною швидкістю у порівнянні з більш повільними цілями.

Крім швидкості та маневреності, слід враховувати наявність зони безпеки цілей. Переслідувач, який намагається досягти максимальної ефективності своїх дій, має не дозволити жодному із втікачів (по можливості) стати недосяжним, тим самим переводячи гру з ступеневої у якісну площину. Якщо з п'яти цілей, обраних для переслідування, дві врятувалися, вже не має значення, як швидко були вражені три інших.

Аспект досягнення зони безпеки тісно пов'язаний ще з одним моментом поведінки втікачів. Переслідувачу необхідно якомога швидше ідентифікувати наявність розподілу ролей в групі. Як тільки він може визначити серед переслідуваних ватажка. Вся увага має приділятися саме цьому втікачеві, натомість всі інші цілі матимуть другорядне значення.

Не в останню чергу при виборі цілі переслідування має розглядатися потенційна небезпека цілей відносно задачі, що розглядається. Як правило, подібна інформація стає відомою переслідувачу апріорно (до початку переслідування) або ж у перші ж миті. Приклади факторів небезпеки: технічні якості гравця суперників у футболі, наявність озброєння у повстанців, бойове навантаження у літаків, тощо. Слід добре розуміти, що далеко не завжди найбільш небезпечний з порушників є ватажком, тому в переслідувача має бути система пріоритетів коли переслідувати ватажка, а коли – найбільш небезпечного з втікачів (або небезпечних, якщо їх декілька).

Підсумовуючи викладене, слід наголосити, що організація раціональної поведінки переслідувача – двоетапна задача, на першому з етапів вирішення якої (ранжування втікачів) необхідно вирішити задачу багатокритеріального прийняття рішень щодо вибору поточної цілі переслідування, а на другому (переслідування) – організувати оптимізацію руху таким чином, аби мінімізувати час захоплення поточної цілі. Обидві задачі мають вирішуватися паралельно в умовах зміни пріоритетів цілей, адже система знаходиться у русі з обмеженнями.

1.4 Метод аналізу ієрархій у прийнятті рішень

Метод аналізу ієрархій - методологічна основа для вирішення задач вибору альтернатив за допомогою їх багатокритеріального рейтингування.

Основне застосування методу – підтримка ухвалення рішень за допомогою ієрархічної композиції задачі та рейтингування альтернативних рішень.

Важливою вимогою, що забезпечує обґрунтованість застосування методу, є кваліфікованість експертів, що беруть участь в створенні структури моделі ухвалення рішення, підготовці даних і в інтерпретації результатів, тобто їх здатність давати правильну несуперечливу інформацію. Багато в чому обґрунтованість рішення, прийнятого за допомогою ієрархічного аналізу проблеми, зв'язана: 1) з повнотою обліку чинників, що визначають рейтинг рішень, 2) з повнотою обліку зв'язків між метою рейтингування, чинниками і можливими рішеннями, 3) адекватністю формулювань критеріїв для парних порівнянь тим цілям, які переслідуються для побудови моделі [18].

Нехай K_1, K_2, \dots, K_n – множина різних об'єктів. C_1, C_2, \dots, C_n - сукупність критеріїв, за якими Особа, що Приймає Рішення (надалі – ОПР) здійснює оптимальний вибір одного з цих об'єктів.

Кількісні суджень про пари критеріїв (C_i, C_j) представляється матрицею попарних порівнянь розмірності $n \times n$:

$$A = (a_{ij}), (i, j = 1, 2, \dots, n). \quad (1.9)$$

Алгоритм вирішення задачі вибору альтернативи за допомогою методу аналізу ієрархій має наступний вигляд.

Першим етапом застосування методу аналізу ієрархій є структуризація проблеми вибору у вигляді ієрархії або мережі. У найбільш елементарному вигляді ієрархія будується з вершини (цілі), через проміжні рівні-критерії (техніко-економічні параметри) до самого нижнього рівня, який в загальному випадку є набором альтернатив.

Після ієрархічного відтворення проблеми встановлюються пріоритети критеріїв та оцінюється кожна з альтернатив за кожним з критеріїв.

Всі можливі альтернативи порівнюються попарно по відношенню до впливу на ту чи іншу загальну для них характеристику. Система парних порівнянь зводиться до результату, який може бути представлений у вигляді зворотно-симетричної матриці. Це означає накладання обов'язкової умови "Якщо альтернатива 1 має пріоритет у 5 разів більший ніж альтернатива 2, то альтернатива 2 має, відповідно, у 5 разів менший", або якщо $a_{ij} = \alpha$, то $a_{ji} = \frac{1}{\alpha}$.

В разі, коли елементи мають однакову важливість, то:

$$a_{ij} = a_{ji} = 1, \quad a_{ii} = 1. \quad (1.10)$$

Після побудови кількісних суджень про пари (C_i, C_j) у числовому виразі через a_{ij} задача зводиться до отримання вагових коефіцієнтів, які відповідали б зафіксованим судженням експертів [18].

Для виявлення кількісних показників при розгляді значимості різних суджень в методі аналізу ієрархій пропонується наступна шкала важливості об'єктів (таблиця 1.1).

<i>Інтенсивність відносної важливості</i>	<i>Визначення</i>	<i>Пояснення</i>
0	Не порівняні	Експертові важко або неможливо порівняти альтернативи
1	Рівна важливість	Рівний внесок двох видів діяльності в мету
3	Помірна перевага одного над іншим	Досвід і судження дають легку перевагу одному виду діяльності над іншим
5	Істотна або сильна перевага	Досвід і судження дають сильну перевагу одному виду діяльності над іншим
7	Значна перевага	Одному з видів діяльності дається настільки сильна перевага, що він стає практично однозначним
9	Дуже сильна перевага	Очевидність переваги одного виду діяльності над іншим підтверджується найсильніше
2,4,6,8	Проміжні рішення між двома сусідніми судженнями	Застосовуються в компромісному випадку

Зворотні величини приведених у таблиці чисел ставляться, якщо при порівнянні одного виду діяльності з іншим отримане одне з вищезгаданих чисел (наприклад, 3), то при порівнянні другого виду діяльності з першим отримаємо зворотну величину (тобто 1/3).

Власний вектор матриці суджень забезпечує впорядкування пріоритетів, а власне значення є мірою узгодженості думок. Таким чином, наступним кроком, після складання матриці думок, є обчислення вектора пріоритетів:

$$b_{ij} = \sqrt[n]{\sum_{j=1}^n a_{ij}} . \quad (1.11)$$

Вектор пріоритетів – нормований головний власний вектор матриці.

Визначивши вектор пріоритетів, можна знайти головне власне значення матриці суджень λ_{\max} , яке використовується для оцінки узгодженості, що відображає пропорційність переваг:

$$\lambda_{\max} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n a_{ij} . \quad (1.12)$$

Чим ближче λ_{\max} до розмірності матриці попарних порівнянь (n), тим більше узгоджений результат. Відхилення від узгодженості може бути виражене величиною індексу узгодженості (ІУ):

$$IU = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} . \quad (1.13)$$

Індекс узгодженості для зворотно-симетричної матриці, що заповнена випадковими рівномірно розподіленими числами за шкалою від 1 до 9 та відповідними зворотними величинами елементів, називається випадковим індексом (ВІ).

Середнє значення випадкового індексу визначається по відповідних таблицях по розмірності матриці суджень (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 - Середнє значення випадкового індексу

Розмір матриці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Випадковий індекс	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Відношення ІУ до середнього ВІ для матриці того ж порядку називається відношенням узгодженості (ВУ):

$$BU = \frac{IU}{VI} . \quad (1.14)$$

Аби результатами експертного оцінювання можна було користуватися для вибору альтернатив, вважаючи їх невідповідними, повинна виконуватися умова:

$$BU \leq 10\% \quad (1.15)$$

Аналогічно будуються та перевіряються на узгодженість матриця попарних порівнянь для всіх інших об'єктів (K_i, K_j) по всім критеріям.

Для кожного об'єкту (альтернативи) відшуковують рейтинг за формулою:

$$W_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} \cdot W_j', \quad (1.16)$$

де W_j' - задані пріоритети критеріїв, b_{ij} - значення пріоритету i -го об'єкту за j -тим критерієм.

В якості раціональної альтернативи необхідно обирати об'єкт з найбільшим рейтингом. Інакше кажучи, рішенням буде та альтернатива i , що матиме $\max W_i$.

1.5 Системи підтримки прийняття рішень

До інформаційних систем нового покоління належать системи підтримки прийняття рішень (СППР) та інформаційні системи, побудовані на штучному інтелекті (інтелектуальні ІС).

СППР — це інтерактивна комп'ютерна система, яка призначена для підтримки різних видів діяльності при прийнятті рішень із слабо структурованих або неструктурованих проблем. Інтерес до СППР, як перспективної галузі використання обчислювальної техніки та інструментарію підвищення ефективності праці в сфері управління економікою, постійно зростає. У багатьох країнах розробка та реалізація СППР перетворилася на напрямок бізнесу, що швидко розвивається.

Штучний інтелект — це штучні системи, створені людиною на базі ЕОМ, що імітують розв'язування людиною складаних творчих завдань. Створенню інтелектуальних інформаційних систем сприяла розробка в теорії штучного інтелекту логіко-лінгвістичних моделей. Ці моделі дають змогу формалізувати конкретні змістовні знання про об'єкти управління та процеси, що відбуваються в них, тобто ввести в ЕОМ логіко-лінгвістичні моделі поряд з математичними. Логіко лінгвістичні моделі — це семантичні мережі, фрейми, продукційні сис-

теми — іноді об'єднуються терміном “програмно-апаратні засоби в системах штучного інтелекту”.

Розрізняють три види інтелектуальних ІС:

- *інтелектуальні інформаційно-пошукові системи* (системи типу “питання — відповідь”), які в процесі діалогу забезпечують взаємодію кінцевих користувачів — непрограмістів з базами даних та знань професійними мовами користувачів, близьких до природних;
- *розрахунково-логічні системи*, які дають змогу кінцевим користувачам, що не є програмістами та спеціалістами в галузі прикладної математики, розв'язувати в режимі діалогу з ЕОМ свої задачі з використанням складаних методів та відповідних прикладних програм;
- *експертні системи*, які дають змогу провадити ефективну комп'ютеризацію областей, у яких знання можуть бути подані в експертній описовій формі, але використання математичних моделей ускладнене або неможливе.

В економіці України найпоширенішими є експертні системи. Це системи, які дають змогу на базі сучасних персональних комп'ютерів виявляти, накопичувати та коригувати знання з різних галузей народного господарства (предметних областей).

СППР виникли на початку 70-х років завдяки подальшому розвитку управлінських інформаційних систем (ІС) і являють собою системи, розроблені для підтримки процесів прийняття рішень менеджерами в складних ситуаціях, пов'язаних із прийняттям рішень. На розвиток СППР істотний вплив мали вражаючі досягнення в галузі інформаційних технологій, особливо в галузі телекомунікаційних мереж, ПЕОМ, динамічних електронних таблиць, експертних систем.

Термін СППР (DSS - Decision Support System) виник у 70-х роках і належить Геррі та Мартону [19], хоча перше покоління СППР мало чим

відрізнялося від традиційних управлінських інформаційних систем. Тому замість СППР часто використовувався термін «системи управлінських рішень».

Дотепер немає єдиного визначення СППР. Наприклад, деякі автори під СППР розуміють «інтерактивну прикладну систему, що забезпечує кінцевим користувачам, що приймають рішення, легкий і зручний доступ до даних і моделей із метою прийняття рішень у ситуаціях з різних галузей людської діяльності [20]. Нарешті, існує твердження, відповідно до якого СППР являє собою специфічний клас систем, що добре описується, на базі ПЕВМ.

Така розмаїтість визначень СППР відображає широкий діапазон різних форм, розмірів та типів цих систем. Але практично усі види цих комп'ютерних систем характеризуються чіткою структурою, що включає 3 головних компонента: підсистему інтерфейсу користувача; підсистему керування базами даних (СУБД) і підсистему керування базою моделі. Специфічні особливості й основи побудови цих компонентів забезпечують у СППР реалізацію ряду важливих концепцій побудови ІС: інтерактивність, інтегрованість, потужність, доступність, гнучкість, надійність, керуємість.

Ціль і призначення сучасних СППР можна визначити так:

- допомога у розумінні розв'язуваної проблеми. Сюди належить структурування проблеми, генерування постановок задач, визначення переваг, формування критеріїв;
- допомога у рішенні задач: генерування і вибір моделей і методів, збір і підготування даних, виконання обчислень, оформлення і видача результатів;
- допомога у проведенні аналізу типу «Що?... Коли?» і т.п., пояснення ходу рішення; пошук і видача аналогічних рішень у минулому і їхні результати.

Дружні людині СППР дають можливість вести рівноправний діалог із ПЕОМ, використовуючи звичайні мови спілкування. Системи можна підбудувати під стиль мислення користувача, його знань і фахової

підготовки, а також під засоби роботи.

Сучасна СППР надає керівнику допомогу у процесі прийняття рішень та забезпечує підтримку у всьому діапазоні контекстів задач. Думка людини та інформація, що генерується ЕОМ, створюють єдине ціле для прийняття рішень. При цьому СППР підтримує і посилює, але не змінює і не відмінює міркування та оцінку керівника. На відміну від адміністративних систем, де робиться акцент на аналітичному процесі, у СППР важливішою є ефективність процесу прийняття рішень.

СППР виконує інтеграцію моделей та аналітичних методів із стандартним доступом до даних і вибіркою з них. Для надання допомоги при прийнятті рішень активується одна або декілька моделей. Вміст БД охоплює історію поточних та попередніх дій, а також інформацію зовнішнього характеру та інформацію про середовище.

Системи підтримки прийняття рішень зазвичай дружні для користувачів, не потребують глибоких знань про обчислювальну техніку і забезпечують просте пересування по системі. Вони побудовані за принципом інтерактивного рішення задач. Користувач має можливість підтримувати діалог із СППР у безперервному режимі.

Необхідно проектувати систему таким чином, щоб вона мала гнучкість та адаптивність для пристосування до змін середовища або підходів до рішення задач, що обирає користувач. Керівник повинен пристосуватися до змінюваних умов сам і відповідно підготувати систему.

СППР у 21 столітті набули широкого застосування в економіках передових країн світу, при цьому їхня кількість постійно збільшується. На рівні стратегічного керування використовується ряд СППР, окремо для довго-, середньо- і короткострокового, а також для фінансового планування, включаючи систему для розподілу капіталовкладень.

Орієнтовані на операційне керування СППР застосовуються в галузях маркетингу (прогнозування й аналіз збуту, дослідження ринку і цін), науково-

дослідних і конструкторських робіт, у керуванні кадрами. Операційно-інформаційне застосування пов'язане з виробництвом, придбанням і обліком товарно-матеріальних запасів, їхнім фізичним розподілом і бухгалтерським обліком.

Узагальнені СППР можуть об'єднувати 2 або більш із перерахованих функцій. Комп'ютерна підтримка різних функцій за допомогою СППР має такий розподіл:

- операційне управління - 30%;
- довгострокове управління - 40%;
- розподіл ресурсів - 15%;
- розрахунок річного бюджету - 12 %.

Перелік найвідоміших комерційних СППР включає сотні назв.

1.6 Висновки до розділу. Постановка задач дослідження

Однією із традиційних та досить мало досліджених задач теорії ігор є так звана гра переслідування. Особливим випадком такої гри є гра з лінією життя, коли втікачі мають певну область простору, досягнувши якої, можуть убезпечити себе від переслідування. Подібні ігри знайшли широке застосування у військовій справі, охороні порядку, спортивних змаганнях, тощо.

Ігри переслідування поділяються на ігри групового переслідування, коли кілька переслідувачів намагаються захопити одну ціль або їх групу, та ігри послідовного переслідування, коли один переслідувач намагається наздогнати кількох втікачів.

Мірою оптимальності розв'язку задачі може бути як якісне рішення – кількість захоплених переслідувачем цілей, так і ступеневе. У останньому випадку мова йде про мінімізацію часу захоплення усіх цілей або інша характеристика, що виражена дійсним числом.

В кваліфікаційній роботі розглянута задача почергового переслідування, в якій критерієм якості є сумарний час затримання всіх втікачів. Задача складається з двох нерозривно пов'язаних завдань: визначення порядку затримання та безпосереднє переслідування при заданому порядку обслуговування.

Об'єктом дослідження в роботі обрано систему з одного динамічного комівояжера (переслідувача), який намагається вразити певну кількість цілей (переслідуваних) за мінімальний час.

Предметом дослідження є розробка алгоритму поведінки переслідувача на основі критеріїв вибору цілі, що змінюються в часі.

Мета кваліфікаційної роботи – розробити систему підтримки прийняття рішень динамічним комівояжером для максимізації його ефективності в багатокритеріальному просторі рішень.

Для досягнення поставленої мети слід вирішити наступні *наукові та практичні задачі*:

- розглянути існуючі постановки задачі переслідування та обрати найбільш близьку до реальних умов постановку;
- виконати бібліографічне дослідження відомих рішень задачі почергового переслідування та обмежень цих рішень;
- запропонувати алгоритм послідовного переслідування групи цілей динамічним комівояжером;
- сформулювати та вирішити задачу багатокритеріального вибору поточної цілі переслідування;
- розробити алгоритм роботи інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень переслідувача;
- виконати моделювання групового переслідування та зробити висновки щодо застосовності запропонованого рішення.

Оскільки, можливості та засоби керування розглядаються з точки зору суб'єкта, що керує переслідувачем, раціональним бачиться застосування у ро-

боті методів експертного оцінювання альтернатив рішень, зокрема, методу аналізу ієрархій.

2 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Критерії вибору поточної цілі динамічного комівояжера

Як було показано в попередньому розділі, організація раціональної поведінки переслідувача – доволі складана задача, оскільки стикається з цілою низкою як критеріїв, так і обмежень. Розглянемо спочатку критерії вибору поточної цілі переслідувачем. Як було зазначено вище, основними серед них є числові показники. Що описують положення цілей у просторі відносно самого переслідувача та відносно так званої “зони безпеки”, при чому положення включає як координати цілей просторі, так і напрям їх руху. Надалі в даній роботі при роботі інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень та при застосуванні методу аналізу ієрархій Ці критерії позначені як К1, К3, К4 та К7.

Крім того, передбачається, що переслідувач на початку процесу переслідування отримує додаткову інформацію про ціль, пов’язану з потенційної небезпекою кожного з переслідуваних, їх швидкостями, можливостями до маневру та ролі в групі. Неповнота, недостовірність або ж нечіткість інформації за даними критеріями легко може бути компенсована уже в ході самого переслідування як наслідок спостереження за поведінкою втікачів. Зокрема, в роботі запропоновано механізм визначення ролей цілей у групі на основі нечітких правил. Інформаційні критерії надалі будуть позначатися як К2, К5, К6, К8 та К9.

Розглянемо тепер детальніше кожен з критеріїв, їх природу та спосіб отримання значень.

К1 – відстань до цілі – відносна відстань від переслідувача до цілі. Відносіть уведена аби уникнути різної розмірності критеріїв. Вона досягається за рахунок нормалізації Севіджа за наступним правилом: найближча ціль має максимальний пріоритет (“1”), найдальша – нульовий. Детальніше нормалізацію даного критерію ілюструє рисунок 2.1 (пунктирна лінія), де $x_{i,j}$ - відстань від

переслідувача до j -тої цілі в момент прийняття рішень, $\mu_{i,j}$ - відповідність за критерієм j -тої цілі вимозі “найближча”.

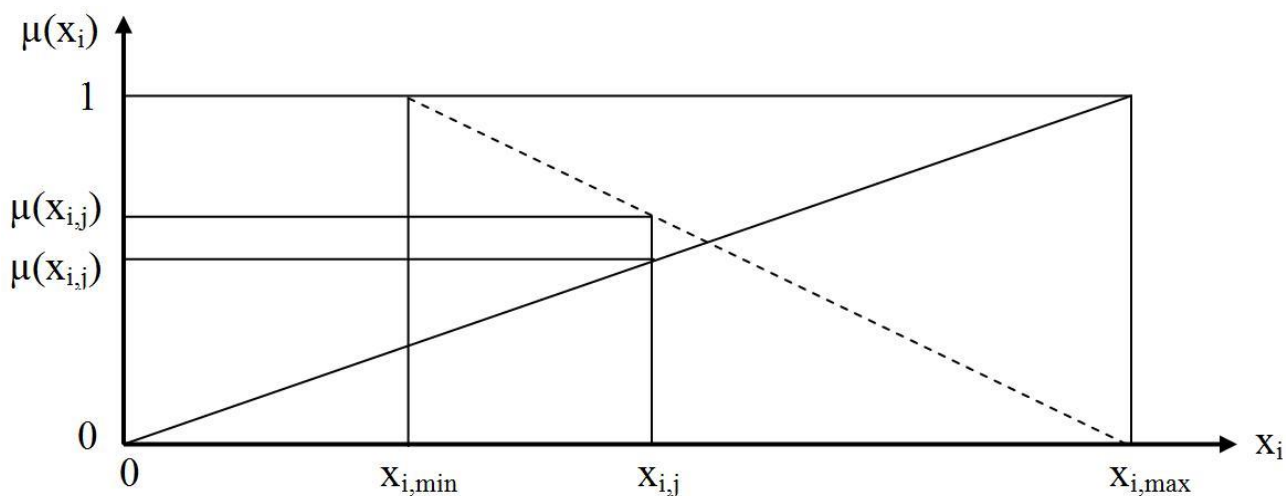


Рис. 2.1 – Нормалізація критеріїв

Математично нормалізація за Севіджем виконується за наступним виразом [21, 22]

$$\mu(x_{i,j}) = \frac{x_{i,max} - x_{i,j}}{x_{i,max} - x_{i,min}} \quad (2.1)$$

Де $x_{i,max}$ - максимальне зі значень i -того критерію у абсолютному вимірі базової шкали; $x_{i,min}$ - мінімальне зі значень критерію за тією ж шкалою; $x_{i,j}$ - значення, що нормалізується.

К2 – швидкість руху цілі – відносна швидкість цілі, (для умов розв’язуваності задачі швидкості цілей мають бути менші за швидкість переслідувача). Оскільки швидкість об’єктів для різних типів втікачів може варіюватися у широких межах, критерій також використовується у відносному вимірі. Як було зазначено у пункті 1.3, раціональна поведінка переслідувача передбачає захоплення спочатку найбільш швидких цілей, тому критерій нормалізується природнім шляхом за формулою

$$\mu(x_{i,j}) = \frac{x_{i,j}}{x_{i,max}} \quad (2.2)$$

Подібний спосіб нормалізації описує безперервна лінія на рис 2.1. Позначення – аналогічні для критерію K1. Оскільки у кваліфікаційній роботі розглядається гра з простим рухом, тому всі гравці рухаються зі своєю максимальною швидкістю, не змінюючи її у процесі гри. У загальному випадку в якості критерію “швидкість” може виступати максимальна швидкість, показана кожною з цілей за час переміщення.

K3 – напрямок руху цілі – критерій, що показує ступінь співпадіння/відхилення вектору напрямку руху цілі від вектора напрямку руху переслідувача. Критерій одразу заданий у шкалі від 0 до 1. Перехід від кута між векторами до значення критерію виконується за правилами, описаними гаусівськими функціями належності, заданими на базовій шкалі $[-\pi; \pi]$, як показано на рисунку 2.2.

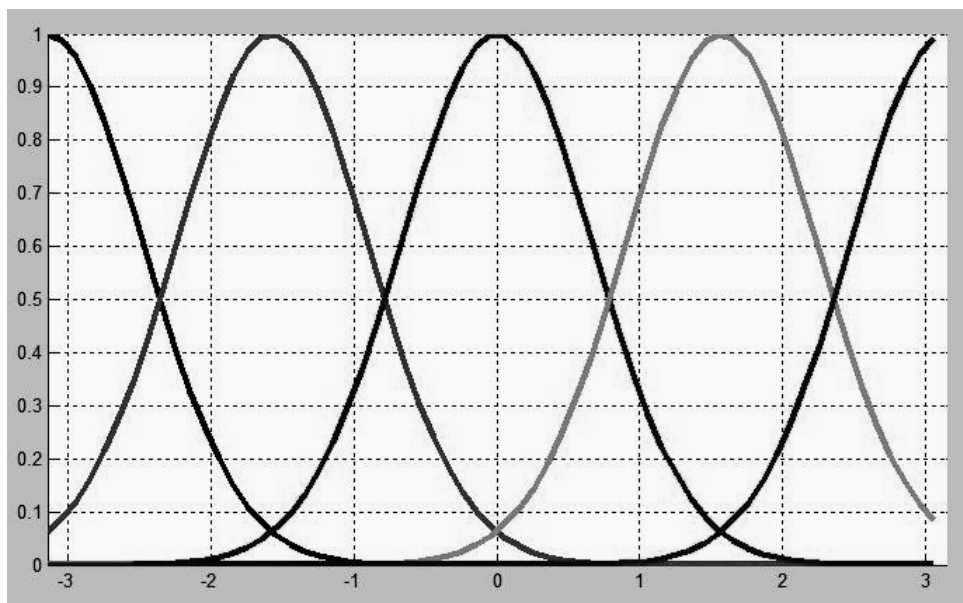


Рис. 2.2 – Функції належності правил визначення критерію K3.

На рисунку 2.2 центральна функція належності з максимумом у 0 радіан відповідає терму “паралельний курс”, дві сусідні функції належності – відповідно термам “перпендикулярний курс вправо” та “перпендикулярний курс вліво”, а крайні криві насправді є фрагментами однієї функції належності з максимумом у $\pm \pi$ - терму “зустрічний рух”.

Згідно з критерієм, першими мають переслідуватися цілі, що втікають паралельним переслідувачу курсом, максимально збільшуючи відстань, потім – цілі, що рухаються зустрічним курсом, нарешті, в останню чергу – ті, що втікають перпендикулярно праворуч або ліворуч.

Нечіткі терми курсу цілі відносно переслідувача будуть використані також в процедурі ідентифікації ролей у групі.

К4 – напрямок руху цілі відносно зони безпеки – критерій, що показує ступінь співпадіння/відхилення вектору напряму руху цілі від вектора напряму цілі на зону безпеки. Визначається аналогічно попередньому критерію з використанням функцій належності, описаних рис. 2.2. Найвищий пріоритет захоплення повинні мати цілі, що рухаються прямо до зони безпеки, меншим – ті, що рухаються перпендикулярними курсами, нарешті, найменший пріоритет за критерієм має бути в цілей, які відлітають від зони безпеки.

К5 - озброєність або потенційна небезпека – критерій, що вимірює ступінь потенційної небезпеки (можливість завдання шкоди переслідувачу: вогнева міць, максимальна маса бойового навантаження тощо) втікача по відношенню до переслідувача. Критерій нормалізується природно за (2.2). Згідно з формулюванням раціональної поведінки переслідувача, спочатку мають знищуватися найбільш небезпечні цілі.

К6 – маневреність цілі – критерій, що показує апіорну або ж визначену в процесі руху можливість кожного з втікачів до різкої зміни напряму руху. Можливість маневрувати пов'язана з типом втікача і обмежує радіуси повороту цілей. Першими мають знищуватися цілі з високою маневреністю, оскільки вони мають збивати з цілі переслідувача різкою зміною курсу та опинятися у його колі недосяжності, перетворюючи переслідування на біг цим колом.

К7 – відстань цілі до “лінії життя” (зони безпеки) – відносна відстань від переслідуваного до зони безпеки у порівнянні з усіма ще не захопленими цілями. Значення критерію оцінює можливість кожної із цілей взагалі уникнути переслідування (перевести задачу ступеня в задачу якості). Аби цілі не вдалося

втекти, першими знищуються цілі найбільш наближені до зони безпеки. Відповідно, як і критерій К1, К7 нормалізується за Севіджем по (2.1) та ілюструється пунктиром на рисунку 2.1.

К8 – апріорна важливість цілі – показник, який характеризує ціль за її властивостями, відомими переслідувачу заздалегідь. Це можуть бути відомості з бази даних чи власного досвіду суб'єкта, керуючого переслідувачем, які були отримані до початку гри. Ця інформація описує об'єкт не безпосередньо під час гри, а те, яким він був, чи яким він потенційно може бути.

Прикладом апріорної інформації може бути тип літака чи човна, типова поведінка суб'єктів переслідування або опонента у спортивній гри (нападник протилежної футбольної команди). Спочатку бажано вражати цілі з високою апріорною важливістю;

К9 – роль у групі – критерій, що передбачає наявність розподілу ролей у групі на кшталт «ватажок», «рядовий» та «прикриття». У даній роботі роль у групі відновлюється відповідною процедурою з використанням термів критеріїв К3 та К4, а також відносної відстань окремої цілі від центру мас інших цілей без урахування поточної.

На початку переслідування (якщо немає апріорної інформації про розподіл ролей) всі втікачі мають рівні показники за даним критерієм. Якщо в процесі гри хтось із переслідуваних відхилився на значну відстань від решти групи, рухається прямо до зони безпеки та/або прямо від переслідувача, ігноруючи коаліційну взаємодію, такого втікача визнають “ватажком”. Цілі, які рухаються переважно від ватажка, ігноруючи власну безпеку – “прикриття”, цілі, які чітко розлітаються чітко якомога далі одна від одної за принципом раціональної поведінки переслідуваних – “рядові”.

Згідно з критеріями раціональної поведінки переслідувача, спочатку повинен бути захоплений “ватажок”, потім “рядові” й тільки після того – “прикриття”.

Всі перелічені вище критерії увійшли до підсумкового варіанту алгоритму роботи інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень. Однак, при розв'язанні задачі вибору поточної цілі переслідування методом аналізу ієрархій використовувались такі критерії як “небезпека”, “швидкість руху цілі”, “маневреність цілі”, “близькість до точки недоступності”, “близькість до переслідувача”.

Оскільки врахування напрямків руху в алгоритмі розрахунку за МАІ ускладнене, цей фактор унеможливив розрахунок ролей у групі. Тож до перелічених критеріїв у методі аналізу ієрархій було додано наступний.

К10 – близькість до центру мас – відносна відстань окремої цілі до центру мас решти цілей. Як було зазначено вище, ціль, яка нехтує рештою коаліції й віддаляється від неї без урахування спільних інтересів може бути “ватажком”, тому в МАІ бажано спочатку вражати відокремлені цілі, а потім скупчені.

Критерії вибору цілі переслідування поділяються на динамічні та статичні. Перші перераховуються на кожному кроці переслідування, до них належать критерії К1, К3, К4, К7 та К9. Другі – К2, К5, К6, К8 – вираховуються й нормалізуються лише на початку гри.

2.2 Визначення пріоритету цілі методом аналізу ієрархій

Застосуємо для вибору оптимальної стратегії затримання переслідуваних описаний раніше метод аналізу ієрархій.

Повна ієрархія задачі, що вирішується, описана діаграмою на рисунку 2.3

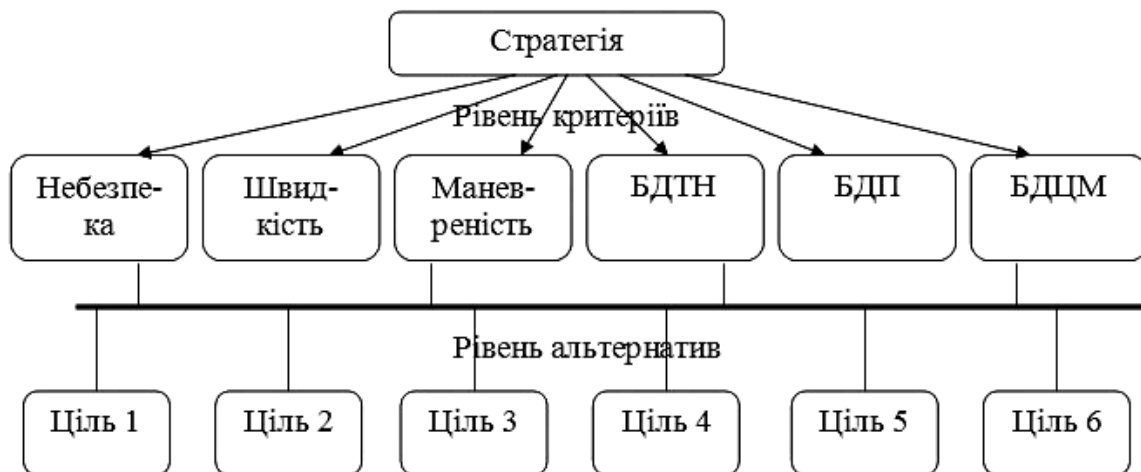


Рис. 2.3 – Ієрархія задачі вибору цілі захоплення

Опитавши експертів, отримуємо матрицю пріоритету критеріїв для даної задачі, наведену в таблиці 2.1. В даній таблиці використано шкалу важливості Сааті (згідно табл. 1.1), а стовпчик “вектор пріоритетів критеріїв отриманий за формулою (1.11)

Таблиця 2.1 - Матриця порівняння критеріїв

	<i>Небезпека</i>	<i>Швидкість</i>	<i>Маневреність</i>	<i>БДТН</i>	<i>БДП</i>	<i>БДЦМ</i>	<i>Пріоритет критерію</i>	<i>Нормалізований пріоритет</i>
<i>Небезпека</i>	1,00	0,33	4,00	0,20	0,14	3,00	0,6966	0,07873
<i>Швидкість</i>	3,00	1,00	5,00	0,50	0,33	4,00	1,4677	0,16589
<i>Маневреність</i>	0,25	0,20	1,00	0,17	0,14	3,00	0,3909	0,04418
<i>Близькість до точки недоступності</i>	5,00	2,00	6,00	1,00	0,50	7,00	2,4380	0,27555
<i>Близькість до переслідувача</i>	7,00	3,00	7,00	2,00	1,00	7,00	3,5664	0,40310
<i>Близькість до центру мас</i>	0,33	0,25	0,33	0,14	0,14	1,00	0,2876	0,03251
<i>СУМА</i>	16,58	6,78	23,33	4,01	2,26	25,0	8,85	1,00
<i>Узгодженість критерію</i>	1,31	1,13	1,03	1,10	0,91	0,81	Сума	6,29
<i>Індекс узгодженості</i>							0,06	
<i>Відношення узгодженості, %</i>							4,70	

Індекс узгодженості для кожного з критеріїв розраховувався як добуток суми його оцінок на нормалізований пріоритет критерію, а сумарна узгодженість λ_{\max} - за формулою (1.12).

Загальний індекс узгодженості розраховувався за (1.13), відношення уз-

годженості – за (1.14), приймаючи до уваги, що число випадкової узгодженості, для матриці розмірністю 6×6 дорівнює 1,24.

З огляду на розрахунки у таблиці 2.1, робимо висновок, що експерти вірно визначили пріоритети критеріїв, вони узгоджені й можуть використовуватися для подальших розрахунків.

Далі зважимо пріоритети цілей за кожним із наведених вище критеріїв. Результати зведемо у таблиці 2.2 – 2.7.

Коефіцієнти, що визначають порядок затримання цілей з точки зору обраної стратегії та пріоритетів критеріїв виконуємо за (1.16)

W1	0,227481
W2	0,209055
W3	0,160067
W4	0,160417
W5	0,094953
W6	0,148028

Таким чином, отримані методом аналізу ієрархій результати свідчать, що обрані в якості можливих для захоплення цілей можна поділити на три категорії: першочергові (цілі 1 та 2), другорядні (цілі 3, 4 та 6) та малоперспективні (ціль 5).

2.3 Стратегії поведінки втікачів у групі

Моделювання розв'язання задачі почергового групового переслідування динамічним комівояжером не може бути об'єктивним без урахування раціональної поведінки втікачів, які, як було зазначено у першому розділі можуть налагоджувати внутрішню групову взаємодію і навіть розподіляти ролі у групі.

З огляду на раціональність поведінки й згідно доведених у літературних джерелах теорем, для збільшення часу захоплення та зменшення ймовірності власного знищення кожен з втікачів має відлітати якомога далі від решти. Цей елемент раціональної поведінки у роботі враховано наступним чином.

Якщо на поточному кроці переслідування цілей, які не врятувалися і не були вражені, залишилось більше однієї, то вони мають центр мас

$$\bar{y} = M \{y_j\} \quad (2.3)$$

де y_j - координати j -того переслідуваного; $M\{y_j\}$ - середнє арифметичне усіх цілей.

Перша складова напрямку руху на наступному кроці прийняття рішень переслідуваним, обумовлена необхідністю максимального віддалення втікачів один від одного приймає вигляд

$$\vec{r}_j = \frac{y_j - \bar{y}}{\|y_j - \bar{y}\|} \quad (2.4)$$

Норма в знаменнику забезпечує відносність напрямку незалежно, наскільки далеко від центру мас знаходиться той чи інший втікач. Слід відзначити, що в разі залишення у грі єдиної цілі переслідування вектор розльоту $\vec{r}_j = [0 \ 0]$.

Не менш логічною з точки зору раціональної поведінки втікача є й наступна складова напрямку майбутнього руху – просто в бік, протилежний переслідувачу. Вектор напрямку втечі має вигляд

$$\vec{v}_j = \frac{y_j - x}{\|y_j - x\|} \quad (2.5)$$

де x - вектор координат переслідувача.

Ще однією суттєвою складовою раціональної поведінки втікачів у розглянутих умовах задачі є спроба досягти зони безпеки і перевести гру ступеня (виграш часу) у гру якості (виграш однієї чи більше врятованих цілей). Напрямок руху, пов'язаний зі спробою досягти зони безпеки матиме вигляд

$$\vec{b}_j = \frac{z - y_j}{\|z - y_j\|} \quad (2.6)$$

де z - вектор координат найближчої точки зони безпеки.

Нарешті, як було показано вище, у групі можливий розподіл ролей, коли так званий “ватажок” рухається від центру мас усіх інших членів групи за винятком його самого

$$\vec{r}_i = \frac{y_i - M \left(y_j \right)_{j \neq i}}{\left\| y_i - M \left(y_j \right)_{j \neq i} \right\|}, \quad (2.7)$$

а так звані “цілі-прикриття” будуть рухатися, крім іншого, від ватажка

$$\vec{q}_j = \frac{y_j - y_i}{\left\| y_j - y_i \right\|}. \quad (2.8)$$

У виразах (2.7) та (2.8) i - індекс «ватажка».

Напрямок руху втікачів у роботі пропонується вираховувати на основі зваженої лінійної згортки цих чотирьох напрямків:

$$\vec{F}_j = \alpha_1 \vec{r}_j + \alpha_2 \vec{v}_j + \alpha_3 \vec{b}_j + \alpha_4 \vec{q}_j \quad (2.9)$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ - вагові коефіцієнти, що відповідають пріоритетам критеріїв вибору напрямків руху цілей (2.4)-(2.9). Залежно від ролі втікача у групі пропонуються наступні значення вагових коефіцієнтів, зведені у таблицю 2.8.

Таблиця 2.8 – Вагові коефіцієнти критеріїв вибору напрямку руху.

Роль у групі	\vec{r}	\vec{v}	\vec{b}	\vec{q}
«Ватажок»	0	0,5	1	0
«Рядовий»	1	1	1	0
«Прикриття»	0,5	0,5	0	1

Таким чином, “ватажок” групи (у даній роботі завжди один) намагається якомога швидше дістатися зони безпеки, при цьому враховуючи положення переслідувача. На противагу йому “прикриття” насамперед рухається від ватажка, враховуючи при цьому положення переслідувача та розлітаючись якомога далі один від одного. Нарешті, у випадку рівної значимості втікачів у групі – всі “рядові” – критерії максимальної віддаленості, безпосереднього втікання та намагання врятуватись у зоні безпеки є рівнозначними.

Запропоновані вагові коефіцієнти для кожної з ролей жодним чином не обумовлені експериментально чи теоретично й висунуті в роботі у якості логічної гіпотези.

Слід звернути увагу, що в разі втрати “ватажка”, група, навіть якщо певна части об’єктів у ній до цього була “прикриттям”, а інша частина – “рядовими”, цілком переходить до тактики “рядовий”, намагаючись максимально збільшити сукупний час переслідування.

Викладені критерії вибору курсу втікачами, а також лінійна згортка їх критеріїв були покладені в основу процедури, що моделює вибір напрямку руху кожної з цілей в залежності від її поточного положення, ролі в групі та обмеження маневреності.

Природно, що на зміну курсу переслідуваних накладається та ж умова, що і на переслідувача – через свою інерційність цілі можуть змінювати свій курс за одиницю часу не більше, ніж на наперед заданий кут. Це обмеження ілюструє рисунок 2.4, на якому пунктиром показані межі можливої зміни поточного курсу \vec{v}_i на кроці $i+1$ не більше ніж на кут β .

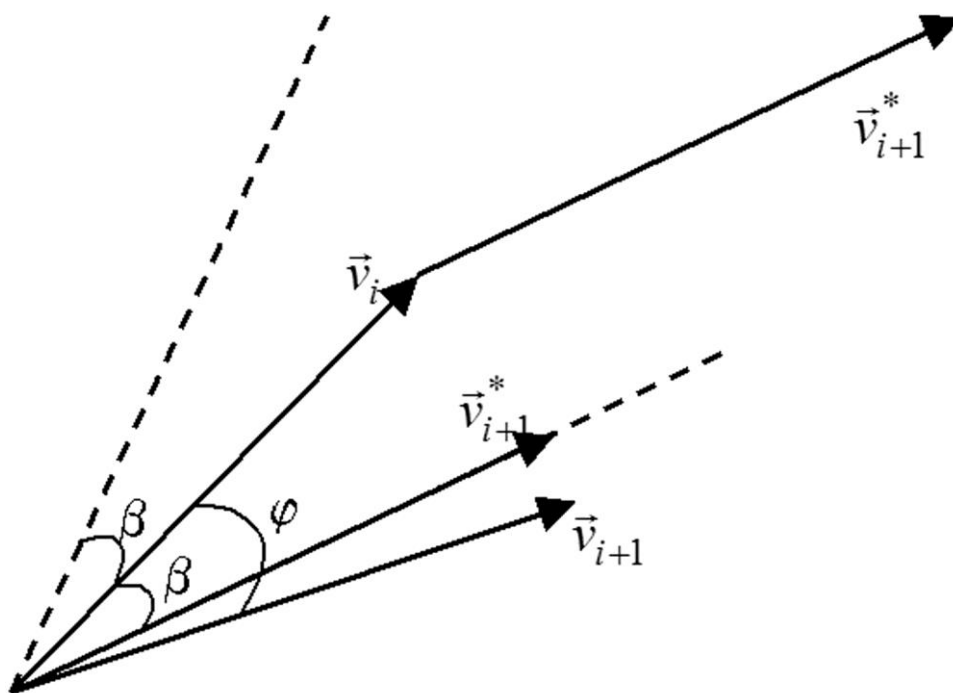


Рис. 2.4 – Обмеження кута повороту цілей.

Якщо за (2.9) з урахуванням діючих для поточної цілі ваг критеріїв $\alpha_1 - \alpha_4$ для цілі, що рухалася на кроці i зі швидкістю \vec{v}_i отримано новий вектор руху на кроці $i+1$ - в даному випадку \vec{v}_{i+1} - такий, що його відхилення від поточного вектора $\varphi > \beta$, відхилення обмежують на рівні $\pm \beta$. Тобто, замість напрямку руху \vec{v}_{i+1} ціль буде змушена, відхилившись на β , взяти новий курс \vec{v}_{i+1}^* . Розрахункові формули для нового напрямку руху також враховують, додатним має бути відхилення чи від'ємним шляхом врахування синусу φ .

Аналіз формули (2.9) також показує, що довжина вектору швидкості, розрахована таким чином, може коливатись від 0 до трьох швидкостей на попередньому кроці. Аби уникнути масштабування, пов'язаного із векторною сумою, в роботі пропонується застосовувати наступний перерахунок швидкостей усіх цілей (з урахуванням обмежень)

$$\vec{F}_j = V_j \frac{\vec{F}_j}{\|\vec{F}_j\|} \quad (2.10)$$

де V_j - власна швидкість j -того втікача, у даній постановці задачі постійна й обумовлена лише типом цілі.

2.4 Інтелектуальна СППР динамічного комівояжера

Всі викладені вище теоретичні засади та запропоновані методи втілені у програмі-прототипі інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень особи, що керує переслідувачем.

Розроблене програмне забезпечення складається з наступних модулів:

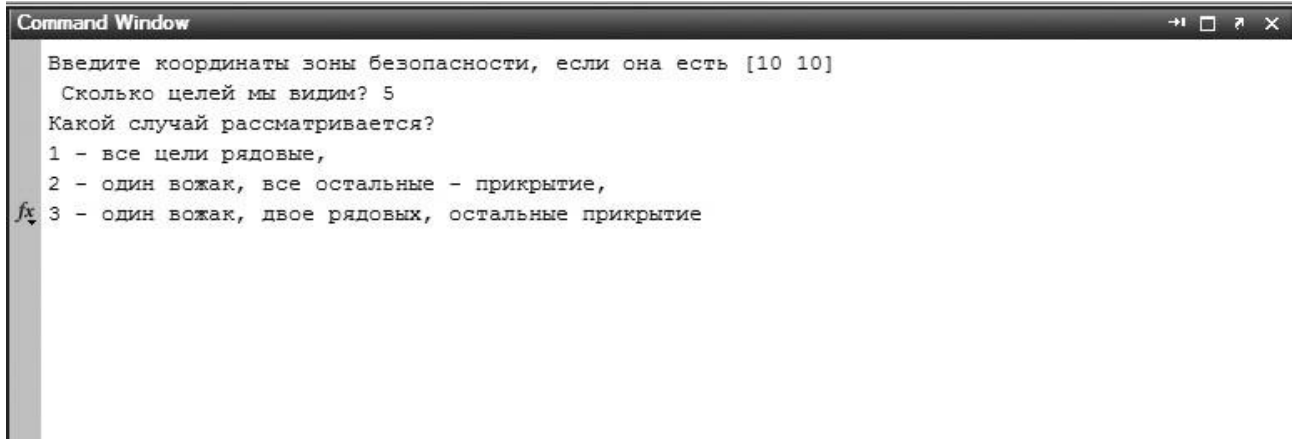
- 1) процедура вибору напрямку руху втікача – запускається для кожного втікача, враховує обмеження маневреності, роль в групі, поточний стан гри та кінцеву мету всієї групи. Процедура задає кожному

з втікачів напрям переміщення, у якому той повинен рухатися з максимальною швидкістю;

- 2) процедура ідентифікації ролей у групі переслідуваних – на кожному кроці гри забезпечує переслідувача відповіддю на питання “чи є у групі цілі, роль яких відмінна від рядових?”. Використовується для ранжування цілей переслідування за дев’ятьма критеріями.
- 3) функція розрахунку поточного курсу втікача відносно курсу переслідувача та напрямку на зону безпеки, яка за системою нечітких правил дозволяє ідентифікувати пріоритети, що визначають поведінку переслідуваного;
- 4) функція повороту поточної цілі чи переслідувача на певний кут у двовимірному просторі з урахуванням обмеження його маневреності за (2.10);
- 5) процедура багатокритеріального вибору цілі переслідування на основі фреймової моделі з наперед заданими пріоритетами характеристик цілей та ідентифікованим розподілом ролей у групі втікачів. Повертає поточну ціль переслідування;
- 6) процедура вибору напрямку руху переслідувача, яка, враховує обмеження маневреності, положення поточної цілі переслідування, розташування зони безпеки. Процедура спрямовує переслідувача на точку зустрічі з ціллю за найкоротшою траєкторією;
- 7) головний модуль, що забезпечує діалог з користувачем, візуалізацію процесу переслідування, завантаження початкових даних, розрахунок ступеневих та якісних показників гри (кількість захоплених цілей та витрачений час), слідкує за залишком ресурсу переслідувача (набої, пальне, тощо), фіксує факт захоплення цілі та забезпечує загальне моделювання гри у реальному масштабі часу.

Прототип інтелектуальної системи реалізований у середовищі Matlab, яке містить велику кількість математичних засобів та засобів математичного й імі-

таційного моделювання, що забезпечують рішення. Після виконання певних доповнень та розвитку системи, мова про який піде нижче, її можна буде легко перекодувати на об'єктно-орієнтовану мову більш високого рівня.



```

Command Window
Введите координаты зоны безопасности, если она есть [10 10]
Сколько целей мы видим? 5
Какой случай рассматривается?
1 - все цели рядовые,
2 - один вожак, все остальные - прикрытие,
fx 3 - один вожак, двое рядовых, остальные прикрытие
  
```

Рис. 2.5 – Уведення початкових даних для моделювання.

Після запуску головного модуля програма пропонує користувачу короткий діалог, наведений на рисунку 2.5. Користувач може вказати координати зони безпеки, якщо така має місце, кількість зафіксованих цілей та розподіл їх ролей.

У прототипі зона безпеки може бути відсутня взагалі або задається у вигляді точки простору (найпростіший випадок). У майбутньому можливий перехід до геометричного місця точок, які утворюватимуть безперервну чи дискретну область простору “зони безпеки”.

Відомості про цілі у програмі-прототипі генеруються випадково – кожна із вказаної користувачем кількості цілей обирається з рівномірною ймовірністю з п’яти заздалегідь відомих типів, дані яких завантажуються у пам’ять із бази даних при ініціалізації програми. З бази даних завантажується швидкість цілі, її маневреність, потенційна небезпека, тощо.

Слід добре розуміти, що вибір розподілу ролей у групі в представленій програмі-прототипі задається для моделювання поведінки групи. Тобто, переслідувач про наявність ролей у цілей не підозрює, до тих пір, поки вони не будуть ідентифіковані відповідною функцією.

Коли обрані зона безпеки, кількість об'єктів переслідування та модель їх групової поведінки (на даному етапі одна з трьох типових, надалі може бути змінено), генерується початкове розташування цілей і переслідувача, що ілюструється рисунком 2.6.

Для простоти було обрано, що переслідувач початково знаходиться в точці простору з координатами $[0;0]$ і бачить цілі, які знаходяться на певному віддаленні в обмеженій області, розмір якої не перевищує відстань до переслідувача. За умовами задачі, взаємна ідентифікація цілей та переслідувача відбувається одночасно, запускаючи таким чином, гру переслідування. З цього моменту з дискретним модельним часом втікачі та переслідувач реалізують свою раціональну поведінку у відповідних процедурах, згаданих вище.

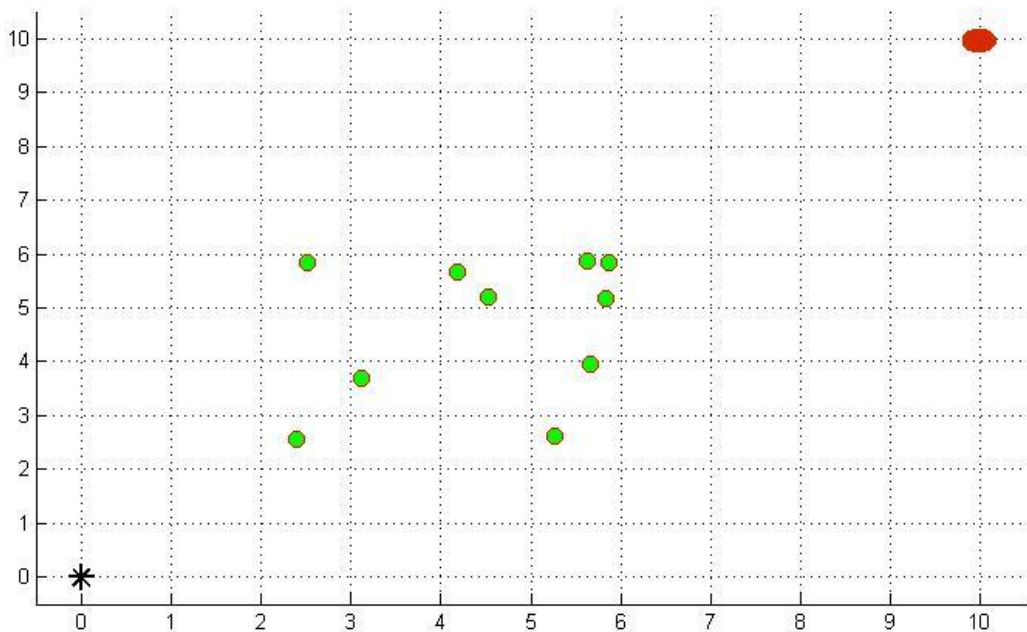


Рис. 2.6 – Початкова ситуація переслідування.

Як видно з рис. 2.6, вже з першого моменту часу цілі не просто обирають напрямок руху від переслідувача, але й намагаються якомога далі відлетіти одна від одної. Переслідувач натомість захоплює цілі одну за одною.

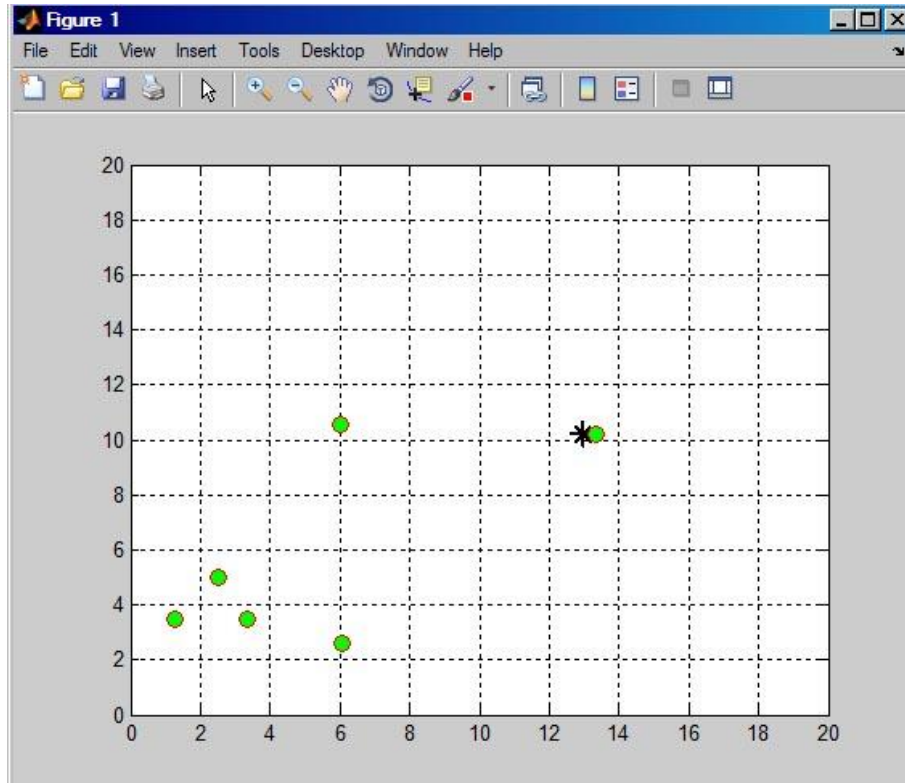


Рис. 2.7 – Моделювання гри триває: враження четвертої цілі.

Захоплені цілі в процесі моделювання залишаються на своїх позиціях – у тих точках простору, де були захоплені. На рисунку 2.7 відображено ситуацію, коли переслідувач майже наздогнав четверту ціль. Даний рисунок ілюструє одну з рис раціональної поведінки переслідувача – перевага у виборі цілі надається більш швидким у порівнянні з менш швидкими. В даному випадку ціль, яку наздоганяє переслідувач, встигла пройти від початкового положення майже 15 км, в той час як деякі цілі так і не вийшли з початкового квадрату [2;4].

На рисунку 2.8 наведено фінальний звіт, який виводить програма-прототип по закінченню гри.

```

Command Window
Введите координаты зоны безопасности, если она есть [10 10]
Сколько целей мы видим? 6
Какой случай рассматривается?
1 - все цели рядовые,
2 - один вожак, все остальные - прикрытие,
3 - один вожак, двое рядовых, остальные прикрытие1
31 switch vazh
porazh =
    1     1     1     1     1     1
spas =
    0     0     0     0     0     0
iter =
    788
fx >> |

```

Рис. 2.8 – Результат работы програми: переслідувач захопив усі цілі

В наведеному випадку маючи резерв часу в 1000 умовних ітерацій переслідувач повністю виграв у групи втікачів гру якості (всі цілі вражені) з показником ступеню 768. Слід визнати таку ситуацію вдалою для переслідувача, адже можлива ситуація, наведена на рисунку 2.9.

```

Command Window
Введите координаты зоны безопасности, если она есть [10 10]
Сколько целей мы видим? 6
Какой случай рассматривается? 1 - все цели рядовые, 2 - один вожак, все остальные - прикрытие, 3 - один вожак, двое
рядовых, остальные прикрытие3
porazh =
    1     1     1     1     0     0
spas =
    1     0     0     0     0     0
iter =
    1000
>>

```

Рис. 2.9 – Результат работы програми: переслідувач зазнав поразки.

У випадку, розглянутому на рис. 2.9, переслідувач програв як гру якості (дві цілі залишилися не захопленими в межах досяжності, а одна взагалі досягла зони безпеки), так і гру ступеня (переслідувачу не вистачило відведеного часу, аби наздогнати й вразити всі цілі). Головним чином на результат вплинула відмінність внутрішньо-групової поведінки, адже в першому випадку (рис. 2.8) всі цілі були рядовими, а у другому (рис. 2.9) мали чіткий розподіл ролей, завдяки чому врятувалися і “ватажок” і два об’єкти “прикриття”.

Загалом, крім внутрішньо-групової поведінки, в ході моделювання розв’язків задачі динамічного комівояжера біло досліджено вплив на ефектив-

ність дій переслідувача наступних параметрів: різних співвідношень пріоритетів критеріїв K1-K9 вибору поточної цілі переслідування, різних кількостях цілей та віддаленості зони безпеки. В ході експериментів встановлено наступне:

- 1) наявність розподілу ролей у групі ключовим чином впливає на ефективність розв'язання задачі динамічного переслідувача, тому ідентифікації наявності цього розподілу має приділятися підвищена увага;
- 2) переслідувач, що має перевагу у швидкості в N разів над швидкістю найпрудкішої з цілей може мати успіх у переслідуванні не більше ніж $n = \text{round}(N^2)$ цілей; при більшій кількості втікачів його успіх носить випадковий характер, обумовлений поганою взаємодією в групі переслідуваних, а для гарантії успіху необхідно застосовувати кілька переслідувачів;
- 3) співвідношення критеріїв вибору цілей та їх метрика ключовим чином впливають на результат переслідування, тому необхідно встановити їх певне співвідношення, яке буде забезпечувати якнайбільшу ймовірність захоплення всіх цілей при однакових початкових умовах;
- 4) розташування та зони безпеки не є визначальним фактором успіху переслідувача, хоча й має враховуватись при формуванні оптимальної поведінки переслідувача.

Перелічені результати експериментів обумовили перспективи розвитку системи, що вирішує поставлену в роботі задачу, і шляхи її подальшого вдосконалення.

2.5 Перспективи розвитку запропонованої системи

У майбутньому планується розглянути задачу почергового переслідуван-

ня цілей групою переслідувачів, в якій критерієм якості є сумарний час затримання всіх втікачів. Наведена постановка, на відміну від розглянутої постановки в кваліфікаційній роботі, більш наближена до реальної ситуації, що має місце у випадках переслідування в двовимірному просторі низки втікачів більш мобільними переслідувачами (вертоліт, патрульний катер і т.д.).

Алгоритм розв'язання такої задачі складається вже не з двох, а з трьох нерозривно пов'язаних частин: розподілу цілей між переслідувачами, ранжирування цілей у кожній з отриманих напівгруп для визначення порядку їх затримання та безпосереднього переслідування при заданому порядку обслуговування.

Планується вирішити задачу першого етапу, яка аналогічна задачі «про дорогоцінні камені» (gems problem). У цій задачі необхідно N дорогоцінних каменів, що мають різну цінність, розділити між m власниками таким чином, щоб досягти максимальної рівномірності розподілу. Задача, що розв'язується у даній роботі, відрізняється тим, що оптимізація відбувається у k -вимірному просторі, так як кожна переслідувана ціль оцінюється за k критеріями вибору.

На кожному кроці розподіл цілей між переслідувачами перераховується, оскільки змінюється цілий ряд просторових характеристик цілей і переслідувачів. Цільова функція для визначення розподілу цілей між двома переслідувачами має вигляд:

$$F(R) = \sum_{j=1}^k \left(\sum_{i=1}^n r_i \cdot p_{ij}^1 - \sum_{i=1}^n \bar{r}_i \cdot p_{ij}^2 \right)^2 \rightarrow \min \quad (2.11)$$

де R - бінарний вектор розподілу цілей між переслідувачами; P^1 і P^2 - матриці зважених оцінок кожної цілі за кожним критерієм для першого і другого переслідувачів відповідно; n - кількість цілей (переслідуваних); k - кількість критеріїв вибору цілі.

Матриці P^1 і P^2 відрізняються через власне положення переслідувачів на значення критеріїв K_1 та K_3 (див. розділ 2.1) - відповідно відстань до цілі і

напрямок її руху.

Після розподілу цілей на кластери для кожного з переслідувачів вирішується задача ранжирування списку переслідуваних у порядку затримання.

Іншим перспективним напрямком розвитку системи підтримки прийняття рішень особи, що керує переслідувачем є формування оптимального співвідношення критеріїв K1-K9 з метою підвищення ефективності дій переслідувача.

Наперед передбачити, яким має бути “ідеальний характер” пілота переслідувача, тож для його відновлення, насамперед, слід обрати метрику, у якій будуть визначатися пріоритети критеріїв. Саме метрика визначатиме відповіді на два ключових питання при формуванні “характеру пілота”:

- чи можливе нульове значення певного пріоритету, що означатиме фактичне неврахування критерію вибору цілі;
- у скільки разів один критерій може бути важливіший за інший.

Слід зазначити, що у роботі було застосовано цілочисельну метрику [0..5] з усередненням ваги, яка показала не надто переконливі результати.

Оскільки задача має багатовимірний імовірнісний характер, для відновлення оптимального співвідношення (чи набору таких співвідношень, в разі якщо жодне сполучення пріоритетів критеріїв не забезпечить абсолютної переваги над іншими) пропонується виконати імітаційне моделювання методом Монте-Карло.

Для його проведення необхідно за певним законом розподілу задавати випадковим чином масив співвідношень критеріїв, кожного разу запускаючи для такого співвідношення моделювання гри переслідування. Кількість цілей, їх тип та поведінка також мають бути розподілені за певним законом розподілу ймовірностей, який відповідає їх розподілу в реальних умовах.

Приклад генерації пріоритетів критеріїв та їх ваги у метриці, що використовувався в роботі, наведений у таблиці 2.9.

<i>Критерій</i>	<i>K1</i>	<i>K2</i>	<i>K3</i>	<i>K4</i>	<i>K5</i>	<i>K6</i>	<i>K7</i>	<i>K8</i>	<i>K9</i>	<i>Сума</i>
<i>Значення у матриці (0..5)</i>	1	4	5	0	1	5	3	1	2	22
<i>Вага</i>	0,045	0,182	0,227	0	0,045	0,227	0,136	0,045	0,091	1

Після проведення численних дослідів необхідно визначити саме такі співвідношення, які стабільно призводять до найкращого результату, незалежно від типу цілей, їх кількості, наявності та форми зони безпеки, розподілу ролей у групі.

Одним з можливих методів обробки результатів імітаційного моделювання є інтелектуальний аналіз даних з метою добування знань із масиву даних у вигляді правил. Механізмом моделювання оптимальної поведінки пілота переслідувача можуть бути наївні мережі Байєса або дерева рішень.

2.6 Висновки до розділу

Для реалізації раціональної поведінки переслідувача було введено дев'ять критеріїв оцінки перспективності поточної цілі переслідування, через оцінки кожної цілі за якими виконується ранжування цілей та вибір поточного об'єкту переслідування. До критеріїв увійшли:

- відстань до цілі;
- швидкість руху цілі;
- напрямок руху цілі відносно переслідувача;
- напрямок руху цілі відносно зони безпеки;
- озброєність або потенційна небезпека;
- маневреність цілі;
- відстань цілі до “лінії життя” (зони безпеки);
- апріорна важливість цілі;
- роль у групі.

При використанні методу аналізу ієрархій в якості допоміжного для вирішення задачі вибору поточної цілі критерії К3, К4 та К9 були замінені зведеним критерієм “близькість до центру мас”.

Розв’язання внутрішньої задачі ранжування втікачів з метою формування порядку їх захоплення методами аналізу ієрархій та методом пропорційної згортки критеріїв показав майже повну збіжність результатів, що свідчать про правильність обраного підходу до вирішення задачі.

Раціональна поведінка переслідуваних була реалізована у вигляді окремого програмного модулю, який дозволяє визначати ролі в групі та обирати напрямки руху кожного із втікачів у будь-який момент часу виходячи з чотирьох критеріїв. Передбачено механізм захисту “ватажка”, а також адаптивний елемент – перехід до схеми “всі втікачі рівнозначні” при втраті ватажка чи досягненні ним зони безпеки.

Всі викладені теоретичні засади втілені у програмі-прототипі інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень особи, що складається з процедури вибору напрямку руху втікача, процедури ідентифікації ролей у групі переслідуваних, функції розрахунку поточного курсу втікача, функції повороту поточної цілі чи переслідувача, процедури багатокритеріального вибору цілі переслідування, процедура вибору напрямку руху переслідувача та головного модуля. Останній забезпечує діалог з користувачем, візуалізацію процесу переслідування, завантаження початкових даних, розрахунків ступеневих та якісних показників гри, слідкує за залишком ресурсу переслідувача, фіксує факт захоплення цілі та забезпечує загальне моделювання гри у реальному масштабі часу.

У розділі також описана робота системи, проілюстровані різні етапи цієї роботи, проаналізовані існуючі недоліки та намічені перспективи подальшого розвитку прототипу ІС ППР при доведенні її до рівня автоматизованої системи.

Перспективною вбачається вирішення задачі колективного переслідування, а також отримання оптимального співвідношення критеріїв вибору поточного об’єкта переслідування.

ВИСНОВКИ

Однією із традиційних та досить мало досліджених задач теорії ігор є так звана гра переслідування. Особливим випадком такої гри є гра з лінією життя, коли втікачі мають певну область простору, досягнувши якої, можуть унебезпечити себе від переслідування. Подібні ігри знайшли широке застосування у військовій справі, охороні порядку, спортивних змаганнях, тощо.

Ігри переслідування поділяються на ігри групового переслідування, коли кілька переслідувачів намагаються захопити одну ціль або їх групу, та ігри послідовного переслідування, коли один переслідувач намагається наздогнати кількох втікачів.

Мірою оптимальності розв'язку задачі може бути як якісне рішення – кількість захоплених переслідувачем цілей, так і ступеневе. У останньому випадку мова йде про мінімізацію часу захоплення усіх цілей або інша характеристика, що виражена дійсним числом.

В кваліфікаційній роботі розглянута задача почергового переслідування, в якій критерієм якості є сумарний час затримання всіх втікачів. Задача складається з двох нерозривно пов'язаних завдань: визначення порядку затримання та безпосереднє переслідування при заданому порядку обслуговування.

Об'єктом дослідження в роботі обрано систему з одного динамічного комівояжера (переслідувача), який намагається вразити певну кількість цілей (переслідуваних) за мінімальний час.

Предметом дослідження є розробка алгоритму поведінки переслідувача на основі критеріїв вибору цілі, що змінюються в часі.

Мета кваліфікаційної роботи – розробити систему підтримки прийняття рішень динамічним комівояжером для максимізації його ефективності в багатокритеріальному просторі рішень.

Для досягнення мети дослідження в роботі поставлені та вирішені наступні наукові та практичні задачі:

- розглянуті існуючі постановки задачі дослідження, обрано найбільш близьку до реальних умов постановку;
- проведено бібліографічне дослідження відомих рішень задачі пологового переслідування та обмежень цих рішень;
- запропоновано алгоритм послідовного переслідування групи цілей динамічним комівояжером;
- сформовано та вирішено задачу багатокритеріального вибору поточної цілі переслідування;
- розроблено алгоритм роботи інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень переслідувача;
- виконано моделювання групового переслідування, зроблено висновки.

Для реалізації раціональної поведінки переслідувача було введено дев'ять критеріїв оцінки перспективності поточної цілі переслідування, через оцінки кожної цілі за якими виконується ранжування цілей та вибір поточного об'єкту переслідування. До критеріїв увійшли: відстань до цілі; швидкість руху цілі; напрямок руху цілі відносно переслідувача; напрямок руху цілі відносно зони безпеки; озброєність або потенційна небезпека; маневреність цілі; відстань цілі до "лінії життя" (зони безпеки); апіорна важливість цілі; роль у групі. При використанні методу аналізу ієрархій в якості допоміжного для вирішення задачі вибору поточної цілі критерії К3, К4 та К9 були замінені зведеним критерієм "близькість до центру мас".

Розв'язання внутрішньої задачі ранжування втікачів з метою формування порядку їх захоплення методами аналізу ієрархій та методом пропорційної згортки критеріїв показав майже повну збіжність результатів, що свідчать про правильність обраного підходу до вирішення задачі.

Раціональна поведінка переслідуваних була реалізована у вигляді окремого програмного модулю, який дозволяє визначати ролі в групі та обирати напрямок руху кожного із втікачів у будь-який момент часу виходячи з чотирьох

критеріїв. Передбачено механізм захисту “ватажка”, а також адаптивний елемент – перехід до схеми “всі втікачі рівнозначні” при втраті ватажка чи досягненні ним зони безпеки.

Всі викладені теоретичні засади втілені у програмі-прототипі інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень особи, що складається з процедури вибору напрямку руху втікача, процедури ідентифікації ролей у групі переслідуваних, функції розрахунку поточного курсу втікача, функції повороту поточної цілі чи переслідувача, процедури багатокритеріального вибору цілі переслідування, процедура вибору напрямку руху переслідувача та головного модуля. Останній забезпечує діалог з користувачем, візуалізацію процесу переслідування, завантаження початкових даних, розрахунок ступеневих та якісних показників гри, слідкує за залишком ресурсу переслідувача, фіксує факт захоплення цілі та забезпечує загальне моделювання гри у реальному масштабі часу.

У розділі також описана робота системи, проілюстровані різні етапи цієї роботи, проаналізовані існуючі недоліки та намічені перспективи подальшого розвитку прототипу ІС ППР при доведенні її до рівня автоматизованої системи.

Крім перелічених алгоритмічних розробок, виконаний порівняльний аналіз процесів вибору поточної цілі двома методами – методом лінійної згортки критеріїв та методом аналізу ієрархій. Отримані результати продемонстрували збіжність методів, що свідчить про правильність обраного підходу до вирішення задачі.

Практична цінність отриманих в роботі результатів полягає у розробці прототипу інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень переслідувачем щодо вибору поточної цілі переслідування. Вбудованим модулем системи є процедура визначення поточного курсу з урахуванням обмеження на керуючий вплив (маневреність).

Перспективною подальшого вдосконалення запропонованої системи вважається вирішення задачі колективного переслідування, а також отримання оп-

тимального співвідношення критеріїв вибору поточного об'єкта переслідування.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айзекс Р. Дифференциальные игры / Р. Айзекс: пер. с англ. – М.: Мир, 1967. – 497 с.
2. Петросян Л.А. Групповое преследование одним преследователем нескольких преследуемых / Л.А. Петросян, В.Д. Ширяев // Вестн. ЛГУ. – 1980. – 13, №3. – С. 50–57.
3. Белоусов А.А. О решении игровой задачи динамического коммивояжера / А.А. Белоусов, Ю.И. Бердышев, А.Г. Ченцов, А.А. Чикрий // Кибернетика и системный анализ. – 2010. – №5. – С. 40-45.
4. Петросян Л.А. Дифференциальные игры преследования / Л.А. Петросян. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1977. – 222 с.
5. Петросян Л.А. Дифференциальные игры на выживание со многими участниками / Л.А. Петросян // Докл. АН СССР. – 1965. – 161, № 2. – С. 285-287.
6. Петросян Л.А. Игры преследования с «линией жизни» / Л.А. Петросян // Вестн. Ленингр. ун-та. – 1967. – 3, № 13. – С. 76-85.
7. Петросян Л.А. Преследование на плоскости / Л.А. Петросян, Б.Б. Рихсиев. – М.: Наука, 1991. – 95 с.
8. Рихсиев Б.Б. Дифференциальные игры с простым движением / Б.Б. Рихсиев. – Ташкент: Фан, 1989. – 232 с.
9. Петров Н.Н. Одна задача простого преследования с фазовыми ограничениями / Н.Н. Петров // Автоматика и телемеханика. – 1992. – № 5. – С. 22-26.
10. Абрамянц Т.Г. Простейшая дифференциальная игра поочередного преследования / Т.Г. Абрамянц, Е.П. Маслов, Е.Я. Рубинович // Автоматика и телемеханика. – 1980. – № 8. – С. 5–15.

11. Иванов М.Н. О сравнении двух методов преследования в задаче о поочередной встрече / М.Н. Иванов, Е.П. Маслов // Автоматика и телемеханика. – 1983. – № 8. – С. 38–43.
12. Ермолов А.Н. Об одной дифференциальной игре в смешанных стратегиях / А.Н. Ермолов, Б.С. Кряковский, Е.П. Маслов // Автоматика и телемеханика. – 1986. – № 10. – С. 32–45.
13. Понтрягин Л.С. Избранные научные труды / Л.С. Понтрягин. – М.: Наука, 1988. – Т. 2. – 576 с.
14. Бердышев Ю.И. Об одной нелинейной задаче последовательного сближения управляемого объекта с двумя уклоняющимися точками / Ю.И. Бердышев // Тр. ИММ УрО РАН. – 2009. – Т. 15. – № 3. – С. 29–37.
15. Чикрий А.А. Преследование управляемым объектом группы убегающих / А.А. Чикрий, С.Ф. Калашникова // Кибернетика. – 1987. – № 4. – С. 1–8.
16. Шевченко И.И. Геометрия альтернативного преследования / И.И. Шевченко. – Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2003. – 240 с.
17. Петросян Л.А. Об одном семействе дифференциальных игр на выживание в пространстве R^2 / Л.А. Петросян // П Докл. АН СССР. – 1965. – Т. 161. – № 1. – С. 52-54.
18. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М.: «Радио и связь», 1993. – 278 с.
19. Джексон П. Введение в экспертные системы: Уч. пос. / П. Джексон; пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2001. – 624 с.: ил.
20. Люгер Дж. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Дж. Ф. Люгер. – 4-е издание; пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. – 864 с.: ил.
21. Кини Р.Л. Принятие решений при многих критериях: Предпочтения и замещения / Р.Л. Кини, Х. Райфа. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.

22. Ларичев О.И. Анализ процессов принятия человеком решений при альтернативах, имеющих оценки по многим критериям (обзор) / О.И. Ларичев // Автоматика и телемеханика. – 1981. – № 8. – С. 131-141.
23. Математическая теория оптимальных процессов / [Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф.]. – М.: Физматгиз, 1961. – 391 с.
24. Понтрягин Л.С. Математическая теория оптимальных процессов и дифференциальные игры / Л.С. Понтрягин // Тр. МИАМ СССР. – 1985. – Т. 169. – С. 119-157.
25. Понтрягин Л.С. Линейные дифференциальные игры / Л.С. Понтрягин // I, ДАН СССР. – 1967. – Т. 174. – № 6. – С. 1278-1280.
26. Шевченко И.И. О поочередном преследовании / И.И. Шевченко // Автоматика и телемеханика. – 1981. – № 11. – С. 54–59.
27. Шевченко И.И. Поочередное преследование трех убегающих / И.И. Шевченко // Автоматика и телемеханика. – 1983. – № 7. – С. 70–75.
28. Шевченко И.И. Простейшая модель поочередного преследования / И.И. Шевченко // Автоматика и телемеханика. – 1982. – № 4. – С. 38–42.
29. Чикрий А. А. Численный метод решения задачи поочередного преследования / А. А. Чикрий, Л. А. Соболенко, С. Ф. Калашникова // Кібернетика. – 1988. – №1. – С. 44-49.
30. Петров Н.Н. Об одной задаче преследования со многими убегающими / Н.Н. Петров // Вестник Удмур. ун-та. – 2000. – № 1. – С. 131-136.
31. Петросян Л.А. Игры преследования с «линией жизни» со многими участниками / Л.А. Петросян // Изв. АН АрмССР. – 1966. – Т. 1. – № 5. – С. 333-340.
32. Шевченко И.И. Стратегии сближения с коалициями в целом / И.И. Шевченко. – Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2004. – 132 с.
33. Шевченко И.И. О сближении с коалицией / И.И. Шевченко // Автоматика и телемеханика. – 1986. – № 1. – С. 47–55.

34. Абрамянц Т.Г. Дифференциальная игра преследования групповой цели / Т.Г. Абрамянц, Е.П. Маслов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2004. – № 5. – С. 16–22.
35. Иванов М.Н. Об одной задаче уклонения / М.Н. Иванов, Е.П. Маслов // Автоматика и телемеханика. – 1984. – № 8. – С. 56–62.
36. Абрамянц Т.Г. Об одной задаче уклонения от обнаружения / Т.Г. Абрамянц, М.Н. Иванов, Е.П. Маслов, В.П. Яхно // Автоматика и телемеханика. – 2004. – № 10. – С. 3–12.
37. Shevchenko I.I. Successive Pursuit with a Bounded Detection Domain / I.I. Shevchenko // Journal of Opt. Theory and Appl. – 1997. – Vol. 95, N 1.
38. Fleming W.H. A note on differential games of prescribed duration. Contributions to the theory of games / W.H. Fleming // Ann. Math. Stud. – 1957. – No. 39. – P. 407-412.
39. Матвеев М.Г. Модели и методы искусственного интеллекта. Применение в экономике: учеб. Пособие / М.Г. Матвеев, А.С. Свиридов, Н.А. Алейникова. – М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2008. – 448 с.: ил.

ДОДАТОК Б

ВІДГУК

наукового керівника

на кваліфікаційну роботу магістра

Студента: Соколовського Михайла Валентиновича

Академічної групи: 124м-22-1

Спеціальності: 124 Системний аналіз

На тему: «Моделювання розв'язків задачі динамічного комівояжера з різними пріоритетами цілей»

В кваліфікаційній роботі розглянута задача почергового переслідування, в якій критерієм якості є сумарний час затримання всіх втікачів. Задача складається з двох нерозривно пов'язаних завдань: визначення порядку затримання та безпосереднє переслідування при заданому порядку обслуговування.

Мета кваліфікаційної роботи – розробити систему підтримки прийняття рішень динамічним комівояжером для максимізації його ефективності в багатокритеріальному просторі рішень.

Виходячи з викладеного, в роботі вирішуються наступні *наукові та практичні задачі*:

- розглянуті існуючі постановки задачі дослідження, обрано найбільш близьку до реальних умов постановку;
- проведено бібліографічне дослідження відомих рішень задачі почергового переслідування та обмежень цих рішень;
- запропоновано алгоритм послідовного переслідування групи цілей динамічним комівояжером;
- сформовано та вирішено задачу багатокритеріального вибору поточної цілі переслідування;
- розроблено алгоритм роботи інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень переслідувача;

- виконано моделювання групового переслідування, зроблено висновки.

Вирішені задачі характеризують авторку, як перспективного бакалавра з фахом “системний аналіз”, яка здатна самостійно вирішувати завдання, які стосуються різних напрямків математичного та системного аналізу і моделювання динамічних систем, а також їх оптимізації.

Отримані в роботі результати мають практичну цінність, .

Зауважень по виконаній роботі **не маю**.

Загалом вважаю, що кваліфікаційна робота виконана на високому рівні, відповідає темі та завданню. Обрані об’єкт, предмет та методи дослідження відповідають спеціальності 124 “Системний аналіз”.

Представлена робота заслуговує оцінки **“відмінно”**, а її автор присвоєння кваліфікаційного рівня “магістр з системного аналізу”.

Науковий керівник,

к.т.н., доц.

Мінєєв О.С.

ДОДАТОК В

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

Студента: Соколовського Михайла Валентиновича

Академічної групи: 124м-22-1

Спеціальності: 124 Системний аналіз

На тему: «Моделювання розв'язків задачі динамічного комівояжера з різними пріоритетами цілей»

В ході роботи над кваліфікаційною роботою студентом Соколовським Михайлом Валентиновичем було створено інтелектуальну СППР динамічного комівояжера.

Тема кваліфікаційної роботи безпосередньо пов'язана з об'єктом діяльності магістра за освітньою програмою спеціальності 124 Системний аналіз.

В пояснювальній записці до кваліфікаційної роботи наведено аналіз та актуальність проекту, конкретизується мета кваліфікаційної роботи, об'єкт та предмет дослідження, галузь її застосування. Також наведено постановку завдання, задані вимоги до програмної реалізації, технологій та програмних засобів.

В роботі виконано аналіз існуючих рішень, обрано вибір технологій для розробки, виконано проектування і розробка програми, наведено опис структури та функціонування додатку, визначені вхідні і вихідні дані, описана робота програми.

В якості робочого простору використовувалась інтегрована середа розробки для створення веб-додатків Visual Studio Code.

В спеціальному розділі визначено також перспективи подальшого вдосконалення запропонованої системи.

Зауваження та недоліки:

- список посилань на використані джерела не повністю розкриває проблему роботи;

- аналіз існуючих рішень був проведений на недостатньо глибокому рівні;
- пояснювальна записка має незначні відхилення від вимог щодо оформлення.

Враховуючи зауваження, кваліфікаційна робота заслуговує оцінки 84 «добре».

Рецензент,

к.т.н., доц.

Приходченко С.Д.