МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ім. Т.ШЕВЧЕНКА

На правах рукопису

ГНАТІЄНКО Григорій Миколайович

УДК 519.62

АЛГОРИТМИ ОБРОБКИ ЕКСПЕРТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ЗАДАЧАХ РАНЖУВАННЯ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

05.13.16 - застосування обчислювальної техніки,
математичного моделювання і математичних методів
у наукових дослідженнях

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1994

Роботу виконано на кафедрі теорії автоматизованих систем факультету кібернетики Київського університету ім. ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Науковий керівник: - доктор технічних наук, професор ВОЛОШИН О.Ф.

Офіційні опоненти: - доктор фізико-математичних наук, професор МІХАЛЄВИЧ М.В.

- доктор технічних наук СІГАЛ І.Х.

Провідна організація: - КБ "Шторм" при Київському політехнічному інституті

Захист відбудеться "26" травня 1994 року о 14^{00} годині на засіданні спеціалізованої ради К 068.18.10 в Київському університеті ім. Тараса Шевченка за адресою:

252127 Київ 127, проспект Академіка Глушкова, 6, Факультет кібернетики, ауд.42.

Із дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці Київського університету ім.Тараса Шевченка (вул. Володимирська, 58).

Автореферат розіслано "22" квітня 1994 року

Вчений секретар
спеціалізованої ради,
доктор технічних наук БЕЙКО І.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Дисертаційна робота присвячена питанням розробки алгоритмічного та програмного забезпечення деяких задач прийняття рішень та моделювання конкретних прикладних задач. Основу математичного апарату, який застосовувався при роботі над дисертацією, складають такі наукові напрямки.

В силу тенденції до орієнтації програмного забезпечення на використання експертної інформації зростає роль фахівця в процесі автоматизованого розв'язання задач. Проблема ефективного залучення експерта в процес розв'язання задачі є актуальною,оскільки необхідно використовувати евристику для адекватного моделювання процесів, що автоматизуються. Тому питанням одержання та аналізу експертної інформації в роботах М.А.Айзермана, О.И.Ларічева, Б.Г.Литвака, Б.Г.Міркіна, М.В.Міхалевича,В.І.Паніотто, Т.Л.Сааті, Ю.І.Саєнко, Н.В.Хованова та інших авторів приділяється велика увага.

В останні десятиріччя активно розробляється і добре зарекомендував себе в різних областях науки та народного господарства багатокритеріальний підхід, що дозволяє застосовувати математичний апарат з використанням евристики. Тут доречно відзначити роботи Ю.Б.Гермейера, В.Л.Волковича, В.І.Ірікова, В.С.Міхалевича, В.В.Подіновського, М.Є.Сулуквадзе та ін.

В задачах з великою обчислювальною складністю успішно застосовуються схеми послідовного аналізу варіантів, загальний формалізм якої запропонований В.С.Міхалевичем та Н.З.Шором і розроблений В.Л.Волковичем, О.Ф.Волошином, А.І.Куксою, В.В.Шкурбою та ін.

Побудова моделей, методів, алгоритмів та програмного забезпечення конкретних прикладних задач прийняття рішення з використанням вказаного математичного апарату, має важливе народногосподарське значення і свідчить про актуальність теми досліджень.

Мета роботи. Розробка та обгрунтування моделей та обчислювальних методів розв'язання задач ранжування об'єктів та обробки експертної інформації,створення відповідного алгоритмічного та програмного забезпечення.

Методи досліджень. Теоретичною основою досліджень по темі дисертаційної роботи стали праці провідних вітчизняних та зарубіжних вчених в області методів багатокритеріальної оптимізації, теорії вибору й прийняття рішень, схем послідовного аналізу варіантів, математичного програмування, сучасних інформаційних технологій.

Наукова новизна. Класифікація задач, яка пропонується в роботі,

1-замовлення 188

включає метрики, критерії, форми представлення даних для запропонованої моделі та постановки задач, які найчастіше використовуються в теорії прийняття рішень і зустрічаються в різних роботах, але вперше наводяться в систематизованому вигляді.

Алгоритм розв'язання нової задачі знаходження результуючого (компромісного) ранжування об'єктів в багатокритеріальній постановці поряд з алгоритмами розв'язання відомих постановок задач знаходження медіани Кемені-Снелла та квазіпорядку, найближчого до заданого циклічного відношення переваги, побудовані з використанням розроблених автором процедур аналізу структури бінарних відношень, основаних на схемах послідовного аналізу варіантів.

Запропоновані алгоритми непрямого задання інтервалів зміни вагових коефіцієнтів об'єктів та стабілізації переваг експерта, орієнтовані на неповну метризовану матрицю парних порівнянь, можуть слугувати мірою компетентності експерта або виступати точною апроксимацією переваг експерта в просторі вагових коефіцієнтів.

Ігрова модель оптимального спостереження за групою об'єктів одним переслідувачем в багатокритеріальній постановці дозволила побудувати тренажерний програмний комплекс для допомоги особі, що приймає рішення,переслідувати групу гравців в складній ігровій ситуації.

Практична цінність роботи полягає в створенні математичних моделей, алгоритмічних та програмних засобів для розв'язання конкретних практичних задач:

1. Програмного забезпечення задач обробки експертної інформації в складі модулів знаходження результуючого ранжування об'єктів, задання переваг на множині об'єктів та визначення компетентності експертів в середовищі ОС реального часу СМ ЕОМ та в середовищі MS DOS IBM PC.

2. Діалогової системи КОРСАР, яка використовується як тренажер для імітації процесу оптимального спостереження за групою об'єктів та навчання користувача прийняттю складного рішення в режимі реального часу.

3. Комплекса інструментальних засобів синтезу діалогових систем з базових функціональних модулів на базі СМ ЕОМ в середовищі ОС реального часу.

Дисертаційна робота виконувалася в рамках загальносоюзної науково-технічної програми 0.26(1986-1990 рр.) "Обчислювальна техніка", завдання 0.80.03 "Створити нові та розвивати діючі САПР та АСНД в народному господарстві (Автоматизація досліджень)" (Додаток №78 до

Постанови ДК СРСР з науки та техніки та АН СРСР від 10.11.1985 р. №537/137) за держбюджетними науково-дослідними темами кафедр моделювання складних систем та теорії автоматизованих систем факультету кібернетики Київського університету ім.Т.Шевченка, а також за рядом госпдоговірних тем.

Апробація результатів роботи. Основні положення й результати роботи доповідалися й обговорювалися на:
Проблемному семінарі Інституту гідроакустики (Пушкін, 1987-1988); Науково-технічному семінарі Центрального науково-дослідного інституту ім. Крилова (Санкт-Петербург,1988,1989); Науково-технічному семінарі Військово-інженерного інституту ім. Можайського (Санкт-Петербург,1989,1990);Республіканському семінарі Наукової Ради з проблеми "Кібернетика" Київського університету "Моделювання та оптимізація складних систем" (1987-1993); Науковому семінарі кафедри теорії автоматизованих систем факультету кібернетики Київського університету (1990-1993); Республіканській конференції "Впровадження САПР -- шлях вдосконалення інженерної праці та якості розробок" (Вінниця 20.06-2.07.1987); 8-й Всесоюзній конференції "Проблеми теоретичної кібернетики" (Волгоград, 1990), Міжнародній конференції "Интеллектуальные системы поддержки принятия решений и многокритериальная оптимизация - IDSS'92" (Кацавелі, 1992).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 19 робіт.

Структура та об'єм роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатку.

ЗМІСТ РОБОТИ

<u>У вступі</u> обгрунтовується актуальність теми дисертації, викладається короткий зміст роботи та наводяться анотації основних результатів.

<u>Перший розділ</u> дисертаційної роботи присвячений проблемам,в яких так чи інакше використовується евристика. Наводиться огляд літератури по постановках та методах роз'язання задач обробки експертної інформації та пропонується їх класифікація.

В <u>§1.1</u> наводиться модельна ситуація та основні поняття в задачах прийняття рішення.

Задано множину з n об'єктів (варіантів,альтернатив,планів тощо)

$$a^{\nu} \in A,\ \nu \in \{1,\dots,n\}=N. \qquad (1)$$

В деяких ситуаціях важливо знати значення параметрів, які характеризують об'єкти:

$$a^{\nu}=(a_1^{\nu},\dots,a_m^{\nu}) \in A,\ \nu \in N, \qquad (2)$$

де a_μ^ν, $\nu \in N$, $\mu \in M=\{1,\dots,m\}$, - значення параметрів ν-го об'єкта, $\nu \in N$.

Для кожного параметра можуть бути відомі (або визначатись) вагові коефіцієнти їх відносної важливості

$$\rho_1,\dots,\rho_m, \quad (3)$$

а також задані напрями оптимізації параметрів. Множини індексів параметрів, що максимізуються та тих,що мінімізуються, позначимо відповідно через M_1 та M_2, $M_1 \cup M_2 = M$.

Група, що складається з k експертів (осіб,що приймають рішення, виборців тощо) в межах однакових для всіх обмежень (наприклад, вказівки про кількість об'єктів, що мають бути вибрані, про спосіб ранжування об'єктів, вигляд вихідної інформації тощо) задає (оцінює) бінарні відношення на множині об'єктів (інколи кажуть, що відношення розглядаються у заздалегідь фіксованому класі; для простоти ці відношення та відповідні їм матриці позначаємо однаковими символами)

$$P^i = (p_{\lambda\nu}^i), \lambda,\nu \in N, \ i \in I=\{1,\dots,k\}. \quad (4)$$

Можуть бути також задані коефіцієнти компетентності експертів ("ваги", кваліфікації, відносної ерудованості, важливості експертів, ефективності методів порівняння об'єктів, рейтингу турнірів і т.ін.)

$$\beta_1,\dots,\beta_k, \quad (5)$$

Слід відзначити, що інформація (2),(4) може бути як об'єктивною (результати вимірювання,наприклад),так і одержаною від експертів. Інформація (3),(5), як правило, має евристичний характер.

Наводяться також основні види шкал вимірювання, які використовуються в задачах прийняття рішення; способи порівняння об'єктів; види перетворень значень параметрів об'єктів до безрозмірного вигляду; міри близькості між об'єктами (1) та відношеннями (4). Вводиться поняття ефективного об'єкта.

В <u>§1.2</u> наводяться основні способи агрегування інформації та найбільш поширені принципи оптимальності об'єктів. Розглядаються також різні аспекти поняття узгодженості.

В <u>§1.3</u> пропонується класифікація задач у постановці (1)-(5) за цілями, що стоять перед дослідником, та за виглядом вхідної та вихідної інформації.

В <u>§1.4</u> розглядаються можливості людини в задачах експертного оцінювання.

<u>Розділ 2</u> присвячений описові використання схем послідовного аналізу варіантів та методології багатокритеріальної оптимізації в задачах ранжування об'єктів.

Задачі ранжування (упорядкування множини об'єктів за степенем проявлення деякої властивості) відносяться до однієї з основних задач експертного оцінювання. Сутність задачі полягає в визначенні повного порядку на множині об'єктів, що порівнюються, за заданим частковим порядком.

Практичне застосування задач ранжування дуже різноманітне. Такі задачі виникають, наприклад, при розв'язанні проблеми визначення послідовності завантаження та розвантаження транспортного космічного корабля; виявлення послідовності усунення несправностей деякої системи; комплексному аналізі якості продукції; аналізі характеристик продукції та виділенні головних показників якості; виявлення вузьких місць в деякій складній системі, яка має такі властивості як стійкість (наприклад, живучість), керованість, самоорганізація; проектування каналів зв'язку між вузлами в інформаційно-обчислювальних мережах; експертного оцінювання різноманітних проектів розвитку деяких галузей чи наукових досліджень; планування забудови житлових районів тощо.

Однією з найбільш поширених серед задач ранжування є задача знаходження результуючого ранжування за ранжуваннями (чи матрицями парних порівнянь, що відповідають бінарним відношенням в загальному випадку нетранзитивних), заданих експертами.

Нехай маємо модельну ситуацію у постановці (1)-(5).

Елементи матриць P^i найчастіше визначаються таким чином

$$p^i_{\nu\eta}=\begin{cases} 1, & \text{якщо } a_\nu \succ a_\eta, \\ 0, & \text{якщо } a_\nu \sim a_\eta \text{ або } \nu=\eta, \\ -1, & \text{якщо } a_\nu \prec a_\eta, \end{cases} \qquad (6)$$

$$p^i_{\nu\eta}+p^i_{\eta\nu}=0, \quad \forall\, \nu,\eta=1,\dots,n,\ \nu\neq\eta,\ i\in I,$$

де "$\succ$", "$\sim$" - символи відношень відповідно переваги та рівноцінності між об'єктами.

Для вимірювання відстані між відношенням P, що задане експертом та відношенням R, що відповідає результуючому ранжуванню, будемо використовувати найбільш поширену в цьому класі задач метрику Хемінга

$$d(P,R)=\frac{1}{2}\sum_{\nu=1}^{n}\sum_{\eta=1}^{n}|p_{\nu\eta}-r_{\eta\nu}|,$$

де $p_{\nu\eta}$, $r_{\eta\nu}$ - елементи матриць відповідно P та R.

Оскільки матриці відношень P та R кососиметричні, їх можна записати у вигляді векторів C та X з компонентами

$$c_j=p_{\nu\eta},\ x_j=r_{\nu\eta}, \qquad (7)$$
$$j=(\nu-1)n+\eta-(\nu+1)\nu/2,\ 1\le\nu<\eta\le n.$$

Тоді відстань між відношеннями P та R запишеться у вигляді

$$d(P,R)=\sum_{j=1}^{N} | c_j - x_j | , \quad \text{де} \quad N=n(n-1)/2.$$

Відомо, що нестрогим ранжуванням і тільки їм відповідають ациклічні відношення на множині A.

Означення 2.1. Ациклічним відношенням на A називається повне бінарне відношення R, у якого строга компонента $R^{(s)}$ не має циклів: не існує послідовності об'єктів $a_1,a_2,\dots,a_T$, такої, що $a_t R^{(s)} a_{t+1}$, $t=1,\dots,T-1$ та $a_T R^{(s)} a_1$.

Зауваження 2.1. У випадку, що розглядається, в силу властивостей матриць з елементами вигляду (6), вимога відсутності циклів еквівалентна вимозі відсутності циклів довжини 3 (T=3).

Позначимо через $J=\{1,\dots,N\}$ множину індексів елементів векторів вигляду (7); X^O - множину всіх можливих векторів вигляду (7), $|D|=3^N$; D^A - множину векторів вигляду (7), які відповідають ациклічним відношенням $D^A \subset X^O$; c_{ij} - j-у компоненту вектора, побудованого за матрицею P^i, заданою i-м експертом.

В <u>§2.1</u> розглядаються процедури послідовного аналізу варіантів, що базуються на використанні умови ациклічності розв'язку. Наводяться необхідні означення та твердження.

Розглянемо ланцюжок об'єктів $a_{i_1}, a_{i_2}, a_{i_3}$ з заданими символами відношень $\pi=\{ \succ, \prec, \sim \}$ між ними

$$a_{i_1} \pi \, a_{i_2} \pi \, a_{i_3}, \quad i_1, i_2, i_3 \in \{1,\dots,n\}.$$

Означення 2.2. Базисним підваріантом, який породжується трійкою об'єктів $(a_{i_1}, a_{i_2}, a_{i_3})$, назвемо елементи вектора вигляду (7)

$$(c_{j_1}, c_{j_2}, c_{j_3}), \quad 1 \le j_1 < j_2 < j_3 \le N, \qquad (8)$$

які відповідають відношенням вигляду

$$(a_{i_1} \pi \, a_{i_2}, \; a_{i_2} \pi \, a_{i_3}, \; a_{i_3} \pi \, a_{i_1}).$$

Базисний підваріант може як відповідати ациклічному відношенню на множині трьох об'єктів $(a_{i_1}, a_{i_2}, a_{i_3})$, так і не відповідати. Це мінімальна підмножина об'єктів з множини A, на якій можна виявити цикл. Елементи вектора C, що утворюють базисний підваріант (7), назвемо спряженими між собою.

Означення 2.3. Допустимим базисним підваріантом назвемо базисний підваріант, що породжується трійкою об'єктів, відношення між якими задовольняють умові ациклічності.

Означення 2.4. Повним варіантом (варіантом довжини N) назвемо вектор, що відповідає повному бінарному відношенню на множині об'єктів A.

Означення 2.5. Допустимим варіантом назвемо повний варіант, що відповідає ациклічному відношенню на множині всіх об'єктів.

Означення 2.6. Базисним підваріантом фіксованого варіанта $x^{\Phi}=(x_1^{\Phi},\ldots,x_N^{\Phi})$ називається трійка $(x_{j_1}^{\Phi},x_{j_2}^{\Phi},x_{j_3}^{\Phi})$, $1 \leq j_1 < j_2 < j_3 \leq N$. Тобто для кожного конкретного варіанта x^{Φ} існує $C_N^3=N*(N-1)*(N-2)/6$ його базисних підваріантів. Всі інші можливі трійки, складені з трьох елементів вектора x^{Φ}, які не задовольняють умові $1 \leq j_1 < j_2 < j_3 \leq N$, не є базисними підваріантами повного варіанта x^{Φ}.

Твердження 2.1. Необхідною і достатньою умовою допустимості варіанта (7) є допустимість всіх можливих його базисних підваріантів на множині об'єктів, за відношеннями між якими складений вектор вигляду (7).

Твердження 2.2. Умовою допустимості базисного підваріанта (8) є рівність його (0,0,0) або наявність у ньому одночасно компонентів -1 та 1.

Будемо називати множину $X^s \subseteq X^0, s=1,2,\ldots$, скороченою (відносно початкової множини X^0).

Твердження 2.3. На множині можливих базисних підваріантів, що утворюються елементами скорочених множин $X_{j_1}^s$, $X_{j_2}^s$, $X_{j_3}^s$, завжди існує допустимий базисний підваріант, якщо $\max\limits_{t=\overline{1,3}} | X_{j_t}^s | =3$, де $|\cdot|$ - потужність множини.

Твердження 2.4. Якщо $\min\limits_{t=\overline{1,3}} |X_{j_t}^s|>1$, на множині можливих базисних підваріантів, що утворюються елементами множин $X_{j_1}^s$, $X_{j_2}^s$, $X_{j_3}^s$, завжди існує допустимий базисний підваріант.

Означення 2.7. Циклічним елементом множини X_j^s, $j=1,\ldots,N$, називається такий елемент $x_j^{Ц} \in X_j^s$, який не утворює жодного допустимого базисного підваріанта зі спряженими з ним елементами.

На основі введених означень та доведених тверджень будується **процедура Ф** скорочення множини допустимих розв'язків $X^s=\prod\limits_{j=1}^{N} X_j^s$ за умовою ациклічності відношення, що відповідає розв'язку задачі знаходження результуючого ранжування об'єктів множини (1). Різні постановки таких задач формулюються в параграфах цього розділу.

Наводиться розроблена автором **процедура** Λ пошуку та відсіювання циклічних елементів множин X_j^s, $j=1,\ldots,N$.

В §2.2 розглядається однокритеріальна задача визначення результуючого ранжування об'єктів.

На сьогодні найчастіше використовується і є найбільш обгрунтованою результуюче ранжування,що дістало назву медіани Кемені-Снелла:

$$R^{*}\in \operatorname{Arg}\min_{R\in\mathfrak{R}} (\rho_i \sum_{i\in I} d(R,P^i)), \qquad (9)$$

де $\mathfrak{R}$ - множина матриць, що відповідають нестрогим ранжуванням n об'єктів (ранжування та матриці,що їм відповідають, будемо позначати однаковими символами), $d(R,P^i)$ - відстань між R та P^i.

Задача знаходження результуючого ранжування об'єктів в викладеній постановці формалізується в класі однокритеріальних комбінаторних моделей

$$f(x)=\sum_{j\in J} f(x\ )=\sum_{j\in J}\ \sum_{i\in I} |c_{ij}-x_j|\to\min, \qquad (10)$$

$$x_j\in X_j^0=\{-1,0,1\},\ j\in J=\{1,\dots,N\}, \qquad (11)$$

$$x\in D^A\subset X^0,\ X^0=\prod_{j\in J} X_j^0. \qquad (12)$$

Наводиться алгоритм послідовного аналізу варіантів, який використовує відому процедуру W та розроблені автором процедури Ф та Λ.

§2.3 присвячений обгрунтуванню нової багатокритеріальної постановки задачі знаходження результуючого ранжування та описанню алгоритма її розв'язання.

Незважаючи на те, що серед задач знаходження результуючого ранжування найбільш поширена задача знаходження медіани Кемені-Снелла, її не завжди можна вважати найбільш придатним розв'язком,оскільки це ранжування нівелює думки експертів, згладжує "аномальні" думки, на які теж слід звертати увагу. Для вибору ранжування, яке б більшою мірою враховувало думки всіх членів колективу експертів, можна запропонувати багатокритеріальну постановку задачі:

$$(\rho_i d(R,P^i))\to \min_{R\in\mathfrak{R}},\ i\in I, \qquad (13)$$

де ρ_i-задані чи обчислені коефіцієнти компетентності експертів (найчастіше нормовані,тобто такі,що задовольняють умовам $\sum_{i\in I}\rho_i=1,\ \rho_i>0$); $d(R,P^i)$ - відстань між відношеннями R та P^i: R - відношення, що відповідає нестрогому ранжуванню об'єктів; $\mathfrak{R}$ - множина всіх можливих нестрогих ранжувань заданої кількості об'єктів.

Відомо, що принципова особливість задач багатокритеріальної оптимізації полягає в тому, що не кожну пару розв'язків (в нашому випадку - результуючих ранжувань) можна порівняти за множиною критеріальних функцій (в нашому випадку - відстаней до заданих експертами матриць P^i), тобто для двох ранжувань з множини $\mathfrak{R}$ не завжди можна сказати, яке з них краща одночасно за всіма критеріями. Розв'язок задачі (13) слід шукати на множині ефективних ранжувань з $\mathfrak{R}$.

Означення 2.8. Ранжування об'єктів R^0 називається ефективним, якщо на множині ранжувань $\mathfrak{R}$ не існує такого ранжування $R^Д$, для якого б виконувалися нерівності

$$d(R^Д, P^i) \leqslant d(R^0, P^i) \quad \text{для} \quad \forall i \in I,$$

і хоча б одна з нерівностей була б строгою.

Розв'язком задачі (13) (компромісним ранжуванням) є

$$R^* = \arg \min_{R \in \mathfrak{R}} \max_{i \in I} \rho_i d(R, P^i).$$

У випадку, коли розв'язок (14) не єдиний, тобто

$$R^* \in \mathfrak{R}^E = \operatorname{Arg} \min_{R \in \mathfrak{R}} \max_{i \in I} \rho_i d(R, P^i),$$

на множині $\mathfrak{R}^E$ еквівалентних за цими критеріями ранжувань шукається медіана вигляду (9).

Задача знаходження компромісного ранжування об'єктів в наведеній постановці формалізується в класі багатокритеріальних комбінаторних моделей:

$$f_i(x) = \sum_{j \in J} f_i(x_j) = \sum_{j \in J} |x_j - c_{ij}| \to \min, \; i \in I, \tag{14}$$

$$x_j \in X_j^0 = \{-1, 0, 1\}, \; j \in J, \tag{15}$$

$$x \in D^A \subset X^0, \; X^0 = \prod_{j \in J} X_j^0. \tag{16}$$

Розв'язок задачі (14)-(16) може бути одержаний методом W з застосуванням розроблених автором процедур Ф та Λ.

§2.4 присвячений описанню алгоритму розв'язання задачі визначення квазіпорядку, найближчого до заданого циклічного відношення.

Необхідно знайти лінійний квазіпорядок об'єктів з множини A в якомусь розумінні найближчий до відношення вигляду (4). Взагалі побудова лінійного квазіпорядку вимагає внесення досить великих змін в задану структуру переваг (4). Тому на сьогодні існує багато моделей, що якимсь чином апроксимують задані переваги лінійними квазіпорядками.

Лінійний квазіпорядок, найближчий до заданого відношення вигляду (4), знаходиться як

$$R^* = \arg \min_{R \in \mathfrak{R}} d(P, R),$$

де $\mathfrak{R}$ - множина матриць, які відповідають лінійним квазіпорядкам n об'єктів. Задача знаходження квазіпорядку є складною комбінаторною задачею. Тому для побудови лінійного квазіпорядку R^* часто використовуються алгоритми локальної оптимізації, евристичні алгоритми або алгоритми, що базуються на методі гілок та меж. На сьогодні методи послідовного аналізу до цього класу задач не застосовувалися, хоча їх використання у цій області є перспективним.

Задача знаходження лінійного квазіпорядку, найближчого до заданого на множині (1) відношення переваги (4), формалізується у класі однокритеріальних комбінаторних моделей

$$\sum_{j=1}^{N} | c_j - x_j | \to \min, \qquad (17)$$

$$x=(x_1,\ldots,x_N) \in X^0,\ X^0=\prod^{N} X_j^0=\{-1,0,1\}, \qquad (18)$$

$$x \in D^A \subset X^0. \qquad (19)$$

Описується ітераційна процедура одержання розв'язку задачі (17)-(19), що базується на послідовному аналізі варіантів.

В §2.5 проводиться дослідження алгоритмів послідовного аналізу варіантів для задачі знаходження результуючого ранжування. Наводяться результати обчислювального експерименту, який було проведено для порівняння багатокритеріальної постановки задачі знаходження результуючого ранжування об'єктів з результатами відомих в теорії голосувань правил вибору та для виявлення розмірностей задач, які можна розв'язувати запропонованим алгоритмом.

Розділ 3 присвячений описанню задач визначення вагових коефіцієнтів (ваги об'єктів, важливості параметрів, компетентності експертів) та класифікація цих задач за виглядом вхідної інформації та процедурами задання переваг експертом.

Серед поширених способів задання фіксованих значень коефіцієнтів слід відзначити такі:

-- довільні дійсні числа $\rho_i \in R$, $i \in I$, де R - множина дійсних чисел;

-- дійсні числа з врахуванням обмежень (односторонніх чи двосторонніх), наприклад $\rho_i > 0$, $i \in I$; $-5 \le \rho_i \le 5$, $i \in I$; $0 < \rho_i < 1$, $i \in I$;

-- з врахуванням умови центрованості:

$$\sum_{i \in I} \rho_i = 0,\ \rho_i \in R,\ i \in I;$$

-- з врахуванням умови нормованості:

$$\sum_{i \in I} \rho_i = 1,\ \rho_i > 0,\ i \in I. \qquad (20)$$

На вагові коефіцієнти можуть бути накладені інші обмеження, наприклад, в ієрархічних моделях враховуються обмеження

$$\sum_{i \in I_s^l} \rho_i^{s+1} = \rho_l^s,\ \sum_{s=0,1,\ldots} \sum_{l \in L^s} \sum_{i \in I_s^l} \rho_i^s = 1,$$

де $s=0,1,2,\ldots$, - рівень ієрархії підсистеми, L^s - множина індексів підсистем s-го рівня, I_s^l - множина індексів підсистем $(s-1)$-го рівня, зв'язаних з l-ю підсистемою s-го рівня і т.ін.

Поширеною є також інтервальна форма задання вагових коефіцієнтів $\rho_i, i\in I$. При цьому слід зважити, що не всі гіперпаралелепіпеди K можливих значень коефіцієнтів (конуси переваг -- КП) з гіперкуба $[0,1]$ є допустимими:

$$K=\prod_{i\in I}[\rho_i^H, \rho_i^B], \quad 0 < \rho_i^H \leqslant \rho_i^B < 1, \ i\in I, \qquad (21)$$

де ρ_i^H, ρ_i^B відповідно нижня та верхня межі зміни елементів векторів, ρ_i, $i\in I$.

Означення 3.1. Надлишковими значеннями КП називаються такі значення його компонент ρ_i, $i\in I$, для яких не існує ρ_j, $j\in I$, $j\neq i$, в конусі (21), щоб виконувалися співвідношення нормованості (20).

В §3.1 описується процедура відсіювання надлишкових значень конуса переваг, яка є модифікацією відомого метода послідовного аналізу варіантів для задач лінійного програмування великої розмірності. Сутність цього методу полягає в звуженні інтервалів зміни коефіцієнтів ρ_j^H, ρ_j^B, $i\in I$.

В §3.2 описується розроблений автором метод непрямого визначення конуса переваг за неповною метризованою матрицею парних порівнянь На першому етапі цього метода по матриці вигляду (4) будується прямокутна матриця розміру $(n\times n(n-1)/2)$ з елементами

$$\Pi=(\pi_{ij}), \ i=1,\dots,n*(n-1)/2, \ j\in I, \qquad (22)$$

$$\text{де} \quad \pi_{ij}=\begin{cases} 1, \text{ якщо } \ i=(2-n)+\sum\limits_{t=1}^{s}(n-t), \ s=1,\dots,n-1, \\ p_{ij}, \text{ якщо } \ j=s+1 \ \text{ для } \ i=1,\dots,n-1, \\ \qquad\qquad j=s+1-\sum\limits_{t=1}^{s}(n-t) \ \text{ для } \ i\geqslant n \ \text{ або } \ s\geqslant 2, \\ 0 - \text{у всіх інших випадках}, \end{cases}$$

З матриці (22) по черзі вибираються всі можливі комбінації з (n-1)-го рядка і доповнюються рядком довжини n, що складаються з одиничних елементів. Одержана матриця позначається через G і складається система лінійних рівнянь

$$\begin{aligned} G\rho &= e, \\ \rho_i &> 0, \ i\in I, \end{aligned} \qquad (23)$$

де e - вектор довжини n з елементами $(0,\dots,0,1)^T$, T - знак транспонування.

На останньому кроці алгоритму визначаються мінімальне та максимальне значення елементів вектора розв'язків систем вигляду (23)

$$\rho_i^H=\min_{l\in L}\rho_i^l, \quad \rho_i^B=\max_{l\in L}\rho_i^l, \ i\in I,$$

де L - множина індексів систем вигляду (23), для яких матриця G невироджена, $\rho^l=(\rho_i^l, i\in I)$-розв'язок l-ї сумісної системи вигляду (23).

Твердження 3.1. Розв'язки систем вигляду (23) не порушують відношення переваги, задані експертами на множині об'єктів. Тобто у випадку, коли на думку експерта i-й об'єкт переважає j-й, відповідні компоненти вектора вагових коефіцієнтів знаходяться у співвідношенні $\rho_i>\rho_j$, $i\neq j$, $i,j\in I$, і навпаки.

В §3.3 наводиться узагальнення методу стабілізації переваг на випадок неповних метризованих матриць парних порівнянь.
На першому кроці (s=0) методом рядкових сум визначаються величини $q_i^s = \sum_{j\in I} p_{ij}$. Після цього визначаються початкові значення вагових коефіцієнтів об'єктів (s=0).

$$\rho_i^s = q_i^s \Big/ \sum_{j\in I} q_j^s. \tag{24}$$

На наступному кроці для уточнення коефіцієнтів скористаємося формулами

$$q_i^{s+1}=q_i^s+\alpha\sum_{j\in J_>^i} q_j^s\,(p_{ij})^\gamma+\beta\sum_{j\in J_<^i} q_j^s\,(p_{ij})^\gamma,\quad i\in I,$$

де $J_>^i=\{j:\ p_{ij}\geq 1\}$, $J_<^i=\{j:\ p_{ij}<1\}, i\in I$; α,β,γ - параметри, варіації яких використовуються при оптимізації КП, який визначається. Після цього коефіцієнти визначаються формулою (24) для s=s+1 і т.д. Наводяться критерії зупинки процедури (умови стабілізації).

Пропонується модифікація методу на випадок неповних матриць парних порівнянь.

В §3.4 описуються запропоновані автором процедури визначення компетентності експертів.

В §3.5 наводяться приклади розв'язання задач визначення вагових коефіцієнтів.

Розділ 4 присвячений описанню багатокритеріальної моделі оптимального спостереження за групою гравців одним переслідувачем.

В §4.1 пропонується багатокритеріальна постановка такої задачі в ігровій інтерпретації, її математична модель, метод розв'язання, оснований на використанні апарату багатокритеріальної оптимізації, комплекс програм синтезу діалогових систем з базових функціональних модулів, що слугує системним програмним забезпеченням для тренажерної діалогової системи КОРСАР підтримки прийняття рішення у вказаній задачі супроводження групи об'єктів.

В зоні видимості гравця-переслідувача (далі - переслідувача) знаходиться деяка множина гравців-противників (далі - гравців), характеристики (параметри) яких відомі (ними можуть бути, наприклад, координати на площині, глибина занурення, курс, швидкість, "важливість", ймовірність вірної класифікації гравців, які спостерігаються, деякі закономірності маневрування тощо). Слід зауважити, що значення вказаних параметрів можуть бути як об'єктивними (виміряними), так і евристичними (гаданими, оціненими експертами або виведеними на основі накопичених емпіричних даних). Через заданий час (такт прийняття рішення) характеристики гравців змінюються. Будемо вважати, що стратегії їхньої поведінки невідомі (в ігрових задачах вважається, що вхідні дані є управлінням, яке вибирає противник).

Задача супроводження полягає в тому, щоб протягом вказаного терміну, враховуючи технічні можливості переслідувача (параметри зони видимості, яка являє собою деяку багатозв'язну область, конфігурація якої уточнюється при адаптації до конкретних умов, швидкість ходу, маневрування курсом, швидкість занурення чи підйому (трала - в риболовецькій інтерпретації) тощо) та зовнішню обстановку, приймати рішення на маневрування переслідувача таким чином, щоб утримувати всіх гравців на оптимальній відстані з врахуванням їхньої "важливості".

В §4.2 пропонується задачу супроводження групи об'єктів у викладеній постановці будемо формалізувати у класі дискретних моделей багатокритеріальної оптимізації.

На множині допустимих розв'язків (варіантів маневрування переслідувача)

$$D = D(x),\ x = (x_1,x_2,x_3), \tag{25}$$

знайти розв'язок, "компромісний" по сукупності критеріїв

$$f=\left\{f_i(x,Q)=\min_{\substack{j\in M\\ l\in L}}\left[d_{jl}(Q)-\left[\sum_{n=1}^{3}\left(|\alpha_n^i - x_n|-\Phi_i\right)^2\right]^{1/2}\right]\to\min,\ i\in I\right\}, \tag{26}$$

де $x = (x_1,x_2,x_3)$ - вектор просторових координат переслідувача; α_n^i, $n=1,2,3$, - екстрапольовані на момент закінчення поточного такту прийняття рішення з врахуванням гіпотези про прямолінійний рівномірний рух координати i-го гравця; $\Phi_i=v_i t \sin \xi$, v_i - швидкість i-го гравця; $\xi>0$ - допустимий кут маневрування гравців; $d_{jl}(Q)$, $j\in M$, $l\in L$, - дискретнозначна функція, що залежить від вектора параметрів Q, для j-ї області зв'язності зони видимості, яка має зміст переважної дальності для j-ї області на l-й дискреті напряму; M, L, I - множини індексів відповідно областей зв'язності, дискрет напрямів руху та гравців (критеріїв задачі). Параметри Q характеризують модель зовнішньої обстановки: природні умови (рельєф грунту, глибини, інтенсивність хвиль на поверхні тощо), ширину зони нестійкої видимості (точність апроксимації зони її математичною моделлю), модель руху перешкод (сторонніх об'єктів, які не приймають участі в грі) і т.ін.; $f_i(x,Q)$, $i\in I$, - дискретнозначні функції, які відображують відстані гравців від переважної для переслідувача дальності; t - довжина такту прийняття рішення на рух переслідувача.

Кожен крок (такт) супроводження (переслідування) розділяється на два етапи - прийняття рішення на рух переслідувача та прийняття рішення на розворот з врахуванням глибини занурення (наприклад, трала) в обох випадках.

У відповідності до методології багатокритеріальної оптимізації, провадиться перетворення значень критеріальних функцій $f_i(x,Q)$, $i\in I$, до безрозмірного вигляду $w_i(x,Q)=w_i(f_i(x,Q))=f_i(x,Q)/f_i^H$, $i\in I$, де f_i^H, $i\in I$, - найгірші на поточному такті прийняття рішенння значення критеріїв.

Після врахування нормованих вагових коефіцієнтів відносної важливості областей зв'язності для прийняття рішення r_j, $r_j>0$, $j\in M$, зважені безрозмірні значення критеріїв рівні $w_{ij}^r(x,Q) = r_j w_i(x,Q)$, $j\in M$, $i\in I$, для області зв'язності, в якій знаходиться i-й гравець та $w_{ij}^r(x,Q)=0$, якщо i-го гравця в j-й області немає.

Розв'язок задачі (25),(26) має вигляд

$$x^0 = \arg\min_{x\in D}\max_{\substack{i\in I\\ j\in M}} \rho_i w_{ij}^r(x,Q), \qquad (27)$$

де $\rho_i>0$, $i\in I$, - нормовані вагові коефіцієнти відносної важливості критеріальних функцій (26), які передбачається обчислювати як $\rho_i=q_i^\mu/p_i$, $i\in I$; q_i^μ -"важливість" i-го гравця з точки зору переслідувача в N-бальній шкалі: $0<q_i\leqslant N$, $i\in I$; N - деяке натуральне число; p_i- ймовірність вірної класифікації i-го гравця переслідувачем: $0<p_i<1$, $i\in I$; μ, $\mu>0$, - дійсне число, яке задає степінь переваги між параметрами q_i та p_i.

Якщо розв'язок задачі (25),(26) вигляду (27) неєдиний, застососовується узагальнений критерій вигляду $\sum\limits_{\substack{i\in M\\ j\in M}} \rho_i w_{ij}^r(x,Q) \to \min\limits_{x\in D_0}$,

де D_0, $D_0\subseteq D$, - множина еквівалентних за критерієм (27) розв'язків.

В <u>§4.3</u> описується діалогова система КОРСАР спостереження за групою об'єктів, яка функціонує в середовищі ОС реального часу СМ ЕОМ.

В <u>§4.4</u> описується комплекс інструментальних засобів створення діалогових систем на базі СМ ЕОМ.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

В дисертації здійснено розробку теоретичних положень та їх практичну реаліцію у вигляді алгоритмічного та програмного забезпечення для деяких задач обробки експертної інформації.

Основні теоретичні й практичні результати, представлені в дисертації:

1. Запропоновано нову постановку задачі ранжування, основану на багатокритеріальному підході, розв'язок якої краще узгоджується з заданими експертами відношеннями переваги, ніж розв'язки існуючих постановок задач. Розроблено процедуру послідовного аналізу та відсіву недопустимих варіантів розв'язків задачі ранжування за умовою ациклічності розв'язку та наведено її обгрунтування. На основі процедур послідовного аналізу запропоновано алгоритми розв'язання задач знаходження компромісної ранжировки, медіани Кемені-Снелла та квазіпорядку, найближчого до заданого нетранзитивного бінарного відношення. Створено відповідне програмне забезпечення.

2. Введено означення надлишкових значень паралелепіпеда можливих нормованих значень коефіцієнтів відносної важливості об'єктів та запропоновано процедури, основані на методі послідовного аналізу та відсіювання несуттєвих обмежень в задачі лінійного програмування.

3. Запропоновано метод визначення конуса переваг по неповній метризованій матриці парних порівнянь, який точно апроксимує множину точок, що відповідає заданій матриці парних порівнянь.

4. Запропоновано узагальнення методу стабілізації переваг для неповної матриці парних порівнянь. Введено критерії точності апроксимації вхідної матриці парних порівнянь конусом переваг. Проведено обчислювальний експеримент,що показав позитивні сторони розробленого методу.

5. Запропоновано багатокритеріальну модель супроводження групи гравців одним переслідувачем та алгоритми її розв'язання. Розроблено алгоритмічне,програмне та інформаційне забезпечення задачі супроводження групи гравців у вигляді тренажерної діалогової системи КОРСАР, яка використовується для навчання особи, що приймає рішення, знаходженню компромісного варіанту маневра переслідувача в складній ігровій ситуації.

6. Розроблено комплекс інструментальних засобів синтезу діалогових систем з базових функціональних модулів на базі СМ ЕОМ, який є системним програмним забезпеченням для програмних продуктів, представлених в дисертації, а також використовується різними авторами

для створення програмних комплексів, що функціонують в режимі реального часу в різних проблемних областях.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ:

1. Волошин А.Ф., Гнатиенко Г.Н. Диалоговая система поддержки принятия решений на базе СМ ЭВМ// Исследование операций и АСУ.- 1991. - Вип.35. - С.100 - 109.

2. Волошин А.Ф., Гнатиенко Г.Н. Многокритериальный подход к задаче сопровождения группы обьектов в игровой постановке // Автоматика. - 1991. - № 5 - С.95 - 98.

3. Волошин А.Ф., Гнатиенко Г.Н. Построение компромиссной ранжировки в задаче группового выбора // Проблемы теоретической кибернетики: Тез. 8-й Всесоюз. ч.2. - Волгоград, 1990. С.44-46.

4. Волошин А.Ф., Гнатиенко Г.Н., Тробин С.Л. Диалоговая система многокритериальной и системной оптимизации на базе СМ ЭВМ //Тез.докл.Республ.конф. "Внедрение САПР - путь совершенствования инженерного труда и качества разработок" // Вінниця, 30 червня - 2 липня 1987 г. - Вінниця: 1987. - С.18.

5. Волошин О.Ф., Гнатієнко Г.М. Програмний комплекс підтримки узгодження рішень у дворівневій ієрархічній моделі вибору режиму функціонування системи засобів зв"язку// Вісн. Київ. ун-ту.- 1992- Вип.4 - С.19-24.

6.Гнатієнко Г.М. Класифікація задач однієї моделі аналізу даних// Київ. ун-т.- Київ, 1992.-89 с. - Бібліогр.:105 назв.- Укр. - Деп. в УкрНДІНТІ 18.06.92, № 911 - Ук92.

7. Гнатиенко Г.Н. Задание предпочтений на множестве критериальных функций в задачах многокритериальной оптимизации // Вестн. Киев.ун-та. Моделирование и оптимизация слож.систем.1990.- Вип.9 - С.87 - 92.

8. Гнатиенко Г.Н., Косматый Д.Ю. Обобщение метода стабилизации предпочтений на случай неполных метризованных матриц парных сравнений //Київ.ун-т. Київ, 1992 . - 22 с. - Бібліогр.: 6 назв - Рос. - Деп. в УкрНДІНТІ 8.06.92, №847 - Ук92.

9. Гнатиенко Г.Н. Метод косвенного задания интервалов относительной важности критериальных функций в задачах многокритериальной оптимизации// Київ. ун-т. - Київ, 1992. - 11с.- Бібліогр.: 9 назв - Рос. - Деп. в УкрНДІНТІ 8.06.92, №848 - Ук92.

10. Гнатієнко Г.М., Косматий Ю.Д. Апроксимація метризованої матриці парних порівнянь конусом переваг//Вісн. Київ. ун-ту. Фізико-математичні науки.- 1994- Вип.4 (у друці).

УБЕНТЗ,1994,зам.188,тир.100