

1. Рассел А.Д. Управление высокотехнологичными программами и проектами. – ДМК Пресс, 2004. – 472 с. 2. Губко М.В. Управление организационными системами с коалиционным взаимодействием участников / М.В. Губко – М.: ИПУ РАН (научное издание), 2003.–140 с. 3. Катренко А.В. Дослідження операцій / Катренко А.В. – Львів: Магнолія-2006, 2009. – 352 с. 4. Катренко А.В. Системний аналіз / Катренко А.В. – Львів: Новий світ-2000, 2009. – 396 с. 5. Катренко А.В. Управління ІТ-проектами / Катренко А.В. – Львів: Новий світ-2000, 2011. – 540 с. 6. Кендалл Д. И. Современные методы управления портфелями проектов и офис управления проектами: Максимизация ROI / Джеральд И. Кендалл, Стивен К. Роллинз. – М.: ПМСОФТ, 2004. – 576 с. 7. Матвеев А.А. Модели и методы управления портфелями проектов/ А.А. Матвеев, Д.А. Новиков, А.В. Цветков. – М.: ПМСОФТ, 2005. – 206 с. 8. Мулен Э. Кооперативное принятие решений: аксиомы и модели / Эрве Мулен. – М.: Мир, 1991. – 464 с. 9. Project Management Institute. Standard for Portfolio Management. – PMI, 2006. – 79 с.

УДК 519.16

Т.В. Ковалюк, Д.С. Іващенко

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”,
кафедра автоматизованих систем обробки інформації та управління

МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМИ ОПТИМІЗАЦІЇ У ЗАДАЧАХ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

© Ковалюк Т.В., Іващенко Д.С., 2011

Розглянуто проблему надання користувачам інформації про оптимальний комплект засобів екологічного захисту, що гарантує безпеку перебування у заданому регіоні. Описана постановка задачі вибору оптимального комплексу засобів захисту людини від впливу екологічних факторів. Розглянуто метод, що дає змогу на основі інформації про доступні засоби захисту, чинних норм дії шкідливих чинників на людину і даних про екологічну обстановку в заданому регіоні отримати рекомендації із забезпечення населення.

Ключові слова: екологічні фактори, засоби захисту від екологічних факторів, генетичний алгоритм, метод гілок та границь, метод динамічного програмування.

The article considers the problem of providing users with information about the optimal set of environmental protective kits, which guarantees safety stay in specific area. It describes the problem statement of selection an optimal set of remedies. It considers a method of obtaining recommendations to ensure environmental safety of the population, based on the data about available remedies and active hazard.

Key words: ecological factors, facilities of protecting from ecological factors, genetic algorithm, method of Branch-and-bound, method of the dynamic programming.

Вступ

Україна на карті ООН через поганий стан довкілля зафарбована чорним кольором. Це колір країни, де мешкає нація, що вмирає. Україна займає перше місце у світі за темпами вимирання населення [1]. За даними Інституту демографії і соціальних досліджень НАН України Південь і Схід України, так званий, „Чорний пояс”, вмирає рекордними темпами. Не останню роль в такій шокуючій статистиці відіграють екологічні проблеми.

За даними Міністерства охорони здоров'я України і Міністерства екології і природних ресурсів України тільки на забруднених радіонуклідами територіях проживає понад 3 млн. ос. більш ніж у 2000 населених пунктах. Внаслідок погіршення екологічної ситуації за останні 10 років

захворюваність населення України збільшилася в середньому на 25 %. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, 80 % екологічно обумовлених захворювань є важкими і практично невиліковними. Медицина вже не може вилікувати людину.

Але де і як оперативно можна отримати інформацію про стан довкілля? Чи можна довіряти одержаній екологічній інформації? На ці питання автори намагаються відповісти своїм проектом EcoSpotter.

Екологічні проблеми, актуальні для людства – і підвищення рівня екологічної інформованості населення в контексті побудови інформаційного суспільства вимагають створення нових механізмів організації, зберігання, поширення і актуалізації інформаційних ресурсів екологічної спрямованості.

Однією з важливих функцій проекту EcoSpotter є надання користувачам рекомендацій щодо зменшення дії шкідливих чинників довкілля на людину. Актуальним є завдання розроблення засобів, що дають змогу людині отримати рекомендації щодо забезпечення її життєдіяльності відповідно до даних про екологічну ситуацію, норми дії небезпечних і шкідливих для життя людини факторів і доступні засоби захисту. Кожна людина має право знати про усі екологічні зміни, що відбуваються в місцевості, де вона проживає, і в усій країні, знати все про їжу, яку вживає, про стан води, яку п'є, а також людина повинна усвідомлювати небезпеку, що загрожує їй, і відповідно діяти [2].

1. Стан проблеми екологічної інформованості та захисту населення

Аналіз доступних населенню інформаційних ресурсів і сервісів, що надають відомості про екологічну ситуацію, показує, що отримання достовірної та оперативної інформації про стан екологічного забруднення конкретного регіону пов'язане з великими труднощами. Розглянемо деякі з електронних інформаційних ресурсів, що надають дані екологічного моніторингу.

Інформаційний ресурс Environmental Interactive Maps [3] надає список інтерактивних екологічних карт Європи. Найбільше карт забруднень водоймищ і ґрунтів. Менше даних про стан озонового шару, забруднення повітря різними видами відходів, шумове забруднення, а також про зони рекреації.

Окрім інтерактивних карт, на сайті можна переглянути публікації і відеоматеріали, пов'язані з висвітленням екологічних проблем, а також статистичну інформацію про зміну екологічних параметрів у вигляді таблиць і графіків. Безперечною перевагою цього ресурсу є різноманітність інформації. Водночас дані на сайті погано структуровані, тому пошук потрібних ускладнений. Для того, щоб знайти відеоматеріали, статті і, приміром, карти забруднення ґрунту важкими металами для конкретного регіону, необхідно окремо вести пошук у розділі відеоматеріалів, публікацій і карт, що зумовлює незручність використання ресурсу.

Портал Baltic GIS Portal [4], створений Інститутом екології міста Вільнюс, містить дані про екологічну ситуацію в районі Балтійського моря. Користувачі можуть отримати відомості про кліматичні дані (температурні показники, рівні освітленості, середній рівень опадів), дані про рослинність, тваринний світ і заповідники, дані про різні види забруднення (радіаційний фон, забруднення ґрунтів і повітря). За зручністю використання інтерактивні карти значно поступаються сучасним картографічним сервісам (Google Earth, Bing Maps та іншим) через відсутність підтримки технології Ajax й обмеженість графічного інтерфейсу користувача. Зазначимо, що отримати доступ до інформації ресурсу можна після реєстрації на сайті.

Проект GSensus, який розробляє Каліфорнійський університет, є спробою розширити картографічний сервіс Google Earth даними про екологічну ситуацію. GSensus поєднує зручність і простоту використання Google Earth з функціональністю геоінформаційних систем. Проте проект поки що на стадії розроблення і нині не підтримується компанією Google.

Розглянувши інформаційні ресурси, що відображують дані про екологічну ситуацію і параметри довкілля, можна зробити такі висновки:

- наявні інформаційні сервіси недостатньо інтерактивні: дані подано у формі статичних карт або у вигляді інтерактивних карт із складним і недружнім графічним інтерфейсом і обмеженою функціональністю;

- наявні інформаційні сервіси не мають засобів пошуку даних екологічного моніторингу;
- інформаційні сервіси вимагають виконання тривалої процедури встановлення і налаштування програмного забезпечення;
- інформаційні ресурси вузькоспеціалізовані за територіальною ознакою і за типом даних, що надаються;
- інформаційні ресурси не дають рекомендацій щодо зменшення дії шкідливих чинників довкілля на людину і способів підвищення екологічної безпеки.

2. Постановка задачі

Нехай в заданому регіоні на людину впливає сукупність шкідливих екологічних факторів (радіація, забруднення води солями важких металів, електромагнітні поля, викиди в атмосферу шкідливих речовин від пересувних джерел забруднення, небезпечні хімічні речовини тощо). Вважається, що забезпечення граничнодопустимих концентрацій небезпечних речовин, встановлених державними стандартами, не шкодить здоров'ю людини. У розпорядженні людини є набір засобів захисту, кожний з яких певною мірою зменшує дію деяких із шкідливих екологічних факторів. Необхідно визначити найдоступніший набір засобів захисту, який забезпечує безпеку людини.

Нехай на людину впливає множина F шкідливих екологічних факторів довкілля. Кожний i -й екологічний фактор характеризується мірою f_i впливу на здоров'я людини: $F = \{f_i, i = \overline{1, m}\}$.

Нехай граничнодопустимі значення екологічних факторів лежать у межах від a_i до b_i згідно з державними санітарними нормами. Отримуємо систему обмежень (1):

$$\begin{cases} a_1 \leq f_1 \leq b_1 \\ a_2 \leq f_2 \leq b_2 \\ \dots \\ a_m \leq f_m \leq b_m \end{cases} \quad (1)$$

У розпорядженні людини є множина $D = \{d_{ij}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}\}$ засобів захисту. Для кожного j -го засобу захисту відомі його вартість c_j , $j = \overline{1, n}$ та міра d_{ij} зменшення негативної дії i -го екологічного фактора $i = \overline{1, m}$ завдяки застосуванню j -го засобу захисту. Тоді негативний вплив

i -го екологічного фактора на людину можна визначити як $f_i - \sum_{j=1}^n d_{ij}x_j$, де компоненти вектора

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ набувають дискретних значень із діапазону $[0, 1]$ згідно з (2):

$$x_j = \begin{cases} 1, \text{ якщо } j\text{-й засіб захисту застосовує людина} \\ 0, \text{ у протилежному випадку} \end{cases} \quad (2)$$

Для визначення найдоступніших за вартістю засобів захисту людини від негативного впливу екологічних факторів можна задати цільову функцію у вигляді (3):

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \min \quad (3)$$

Мінімізація цільової функції (3) здійснюється на множині обмежень (4):

$$\begin{cases} a_1 \leq f_1 - \sum_{j=1}^n d_{1j}x_j \leq b_1 \\ a_2 \leq f_2 - \sum_{j=1}^n d_{2j}x_j \leq b_2 \\ \dots \\ a_m \leq f_m - \sum_{j=1}^n d_{mj}x_j \leq b_m \\ x_j \in \{0, 1\}, j = \overline{1, n} \end{cases} \quad (4)$$

Приведемо задачу до канонічної форми. Для цього застосуємо до кожного i -го обмеження $i = \overline{1, m}$ системи (4) елементарні перетворення, які приведуть до системи (5):

$$a_i - f_i \leq -\sum_{j=1}^n d_{ij}x_j \leq b_i - f_i, \quad i = \overline{1, m} \quad (5)$$

Розділимо кожне з обмежень (5) на два й одержимо систему (6):

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n d_{ij}x_j \leq f_i - a_i \\ \sum_{j=1}^n d_{ij}x_j \geq f_i - b_i \end{cases} \quad (6)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \quad j = \overline{1, n}, i = \overline{1, m}$$

У кожне обмеження введемо вільні змінні $s_i, i = \overline{1, m}$, перетворимо нерівності на рівності й отримуємо канонічну форму (7):

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n d_{ij}x_j + s_i = f_i - a_i \\ \sum_{j=1}^n d_{ij}x_j + s_i = f_i - b_i \end{cases} \quad (7)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \quad j = \overline{1, n}, i = \overline{1, m}$$

Задача (2), (3), (7) є задачею булевого програмування. Розв'язок задачі полягає у визначенні вектора $X = \{x_j \mid x_j \in [0,1], j = \overline{1, n}\}$ з мінімізацією (3) на множині обмежень (7). Задачу можна розв'язати, застосувавши точні або евристичні алгоритми.

3. Адаптація математичної моделі

Модель задачі (3), (7) побудована з урахуванням того, що граничнодопустимі значення екологічних факторів містяться в певному діапазоні значень згідно з державними санітарними нормами. Відомо, що періодично державні органи стандартизації і сертифікації вносять зміни і доповнення до санітарних правил і норм з метою забезпечення техногенної та природної безпеки населення.

Інколи граничнодопустимі значення екологічних факторів мають тільки верхню межу. Наприклад, рівень радіації не повинен перевищувати 12 мкР/годину. Для урахування змін у значеннях параметрів моделі та їхньому діапазоні досить прийняти друге обмеження (7) нескінченно малим (якщо це обмеження знизу) $-\infty \leq f_i \leq b_i, i \in I, I \subset N, N = \{1, \dots, n\}$ або нескінченно великим (якщо це обмеження згори) $a_i \leq f_i \leq \infty, i \in I', I' \subset N, N = \{1, \dots, n\}$. Наприклад, у разі обмеження на радіаційний фон маємо $-\infty \leq f_1 \leq 12$. Якщо деякі із засобів захисту недоступні, досить прийняти їхню вартість, що їхня вартість дорівнює нескінченності, наприклад, $c_j = \infty, j \in J, J \subset M, M = \{1, \dots, m\}$. Отже, забезпечується гнучкість моделі.

4. Алгоритми розв'язування задачі булевого програмування

4.1. Обґрунтування вибору алгоритмів розв'язання задачі

У роботі виконано аналіз результатів використання генетичного алгоритму (ГА), методу гілок та границь, і динамічного програмування для розв'язання задачі (2), (3), (7). Визначалися оцінки часової складності алгоритмів. Порівнювалися результати розв'язання задачі точними та наближеними алгоритмами.

ГА призначений для розв'язання задач комбінаторної оптимізації, тобто оптимізації структур, що задаються векторами, компоненти яких набувають дискретних значень. Оскільки генетичний алгоритм в процесі пошуку використовує деяке кодування множини параметрів замість самих параметрів, то його можна ефективно застосовувати для розв'язання задач дискретної оптимізації.

Якщо розв'язки задачі оптимального вибору засобів екологічного захисту подати у вигляді дерева рішень, в якому на кожному рівні здійснювати розгалуження множини розв'язків та визначати оцінку наближення їх до оптимального рішення, очевидна доцільність застосування методу гілок та границь.

Процес вибору засобів захисту можна уявити як покроковий. На кожному кроці здійснюється вибір категорії або комплекту засобів, згодом вибирають певний засіб. За такою схемою розв'язують задачі методом динамічного програмування.

Отже, для порівняння точності розрахунків доречно використати точні методи розв'язання цілочислової задачі дискретного програмування, наприклад, метод гілок і границь та метод динамічного програмування.

4.2. Застосування генетичного алгоритму для задачі оптимального вибору засобів екологічного захисту

Для застосування генетичного алгоритму необхідно так закодувати задачу, щоб її розв'язок мав вигляд масиву, вміст якого подібний до складу хромосоми [5].

У нашому випадку множини засобів захисту людини від впливу екологічних факторів задаємо як вектор розмірності n , де n – кількість засобів захисту людини від впливу екологічних факторів. Елементи вектора є бітами. Одиничний біт відповідає вибраному засобу захисту, що задіяний в розв'язку, нульовий біт – засіб не визначено.

Випадковим способом у масиві створюється деяка кількість початкових елементів – особин, або початкова популяція. Особини оцінюються з використанням функції пристосування, в результаті якої кожній особині присвоюється певне значення пристосованості, яке визначає можливість її виживання. Після цього з використанням отриманих значень пристосованості здійснюється селекція особини для схрещення. До особин застосовують так звані генетичні оператори – оператор схрещення (crossover) і оператор мутації (mutation), створюючи наступне покоління особин. До особин наступного покоління знов застосовують генетичні оператори. Так моделюється еволюційний процес, що продовжується декілька ітерацій (життєвих циклів поколінь), поки не буде виконано критерій зупинки алгоритму:

- знаходження глобального або близького до оптимального розв'язку;
- вичерпання кількості поколінь, що визначені для еволюції;
- закінчення часу, що відведений на еволюцію.

Узагальнену структуру генетичного алгоритму можна подати так [6].

1. Ініціалізація початкової популяції P_0 чисельністю n .

1.1. Встановити номер поточного покоління $t = 0$.

1.2. Генерувати випадковим способом хромосомний набір з n строкових кодувань фіксованої довжини L , в якому відстань Хемінга між будь-якою парою кодувань не дорівнює нулю.

1.3. Оцінити кожен рядок з хромосомного набору за допомогою функції пристосованості.

2. Відтворення нащадків зі спадковими генетичними властивостями батьків.

2.1. Вибрати випадково з поточної популяції P_t згідно зі схемою схрещування кодування двох батьків, що утворюють "шлюбну пару".

2.2. Генерувати за допомогою оператора кросовера (схрещення) для вибраної "шлюбної пари" з ймовірністю p_c одне або декілька кодувань нащадків, які успадковують генетичні властивості батьків.

2.3. Оцінити кожне кодування нащадків за допомогою функції пристосованості.

2.4. Повторювати усі операції з п. 2.1 доти, доки не буде розглянута задана кількість "шлюбних пар" N_c .

3. Створення мутантів з генетичними властивостями, що відрізняються від властивостей батьків.

3.1. Вибрати випадковим способом з-поміж нащадків і батьків кодування, що наслідують генетичні властивості одного або обох батьків.

3.2. Генерувати за допомогою оператора мутації (mutation) для вибраного кодування з ймовірністю p_m кодування-мутанта, забезпечуючи мінливість генетичних властивостей батьків.

3.3. Оцінити кодування-мутанта за допомогою функції пристосованості.

3.4. Повторювати усі операції з п. 3.1 доти, поки не буде отримано задану кількість мутантів N_m .

4. Заміна поточної популяції P_t новою популяцією P_{t+1} .

4.1. Вибрати стратегію формування популяції P_{t+1} .

4.2. Сформувані з батьків і "дітей" (нащадків і мутантів) репродукційну множину кодувань, що розрізняються на відстань Хемінга.

4.3. Скопіювати кодування, що реалізують стратегію формування популяції P_{t+1} , з репродукційної множини за допомогою оператора селекції.

5. Умова виходу з ітераційного циклу.

5.1. Змінити номер поточного покоління $t = t + 1$ і повторити усі операції з п. 2, якщо умова закінчення генетичного пошуку не виконана (наприклад, еволюція популяції P_t вважається закінченою, якщо вона вичерпала свій життєвий цикл T , тобто якщо $t > T$).

4.3. Застосування методу гілок і границь до задачі оптимального вибору засобів екологічного захисту

В основу алгоритмічної схеми методу гілок і границь покладено ідею послідовного розбиття поточної множини допустимих розв'язків на підмножини розгалуження. На кожному кроці підмножини розбиття перевіряються на наявність оптимального рішення. Для цього на заданій підмножині обчислюється значення оцінки для цільової функції і порівнюється зі значенням рекорду на цей момент. Рекорд – це значення цільової функції для найкращого на цей момент розв'язку. Якщо оцінка цільової функції на підмножині розв'язків не менша (або більша) від рекорду, то цю підмножину можна явно відкинути. Підмножину розв'язків, яка перевіряється, можна відкинути ще і у тому випадку, коли на якомусь кроці вдається знайти розв'язок, який кращий за оцінку цільової функції на цій підмножині. Якщо значення цільової функції для знайденого розв'язку менше від раніше обчисленого рекорду, то значення рекорду змінюється на знайдене значення цільової функції. Коли на якомусь кроці вдається відкинути всі підмножини розв'язків розбиття, то рекорд — це оптимальне значення розв'язку початкової задачі. В іншому випадку з невідкинутих підмножин вибирають найперспективнішу і ділять її. Нові підмножини знову перевіряють. Після закінчення обчислювального процесу алгоритму поточне значення рекорду є оптимальним значенням цільової функції, а відповідне рішення і є оптимальним розв'язком задачі.

Розглянемо схему методу гілок та границь, що застосовується для розв'язання задачі пошуку оптимального захисного комплексу засобів [7].

Процедура розгалуження

На кожному кроці алгоритму задача ділиться на дві підзадачі. Нехай існує правило b , що увідповіднює будь-якій множині $\bar{X} \subset X$ кінцеву кількість підмножин $X_j, j \in J$ таких, що множина підмножин $\{X^j\}$ є таким розбиттям множини \bar{X} , що $X_j \cup X_i = \bar{X}, \forall i, \forall j$, $X_j \cap X_i = \emptyset$. Розбиття множини \bar{X} позначимо $b(\bar{X}) = \{X_j\}$.

Позначимо $|\bar{X}|$ потужність множини \bar{X} . Нехай правила $b(\bar{X})$ розбиття множини \bar{X} відповідають припущенням (8), (9):

$$|\bar{X}| > |X_j|, \text{ якщо } |\bar{X}| > 1, \forall j \in J, \quad (8)$$

$$b(\bar{X}) = \emptyset, \text{ якщо } |\bar{X}| = 1. \quad (9)$$

Підмножини X_j , що утворюються у процесі розгалуження множини \bar{X} , можна впорядкувати за розгалуженням і цей зв'язок можна зобразити у вигляді дерева (V, U) підмножин розв'язків, де V – множина вершин, U – множина дуг. Корінь дерева відповідає множині X , а листки – одноелементним множинам. Умова (8) гарантує, що будь-який шлях від кореня до листа містить не більше за $|X|$ ребер. Умова (9) свідчить про неможливість розбиття для одноелементних множин.

Для кожної конкретної задачі існує багато способів розгалуження множини її розв'язків у вигляді дерева (V, U) . Найширше використовуються бінарне розгалуження та розгалуження за компонентами. Враховуючи те, що всі змінні у задачі (3), (7) пошуку оптимального захисного комплексу є булевими, доречно використати бінарне розгалуження. Очевидно, що дерево розгалуження (V, U) буде бінарним. Для задачі, що розглядається, зміст розгалуження полягає в тому, що для кожного j -го засобу захисту всі допустимі розв'язки, що містить цей засіб, входять в одну множину, а допустимі розв'язки, у які не входить цей засіб, належать іншій множині.

Процедура оцінювання

Для кожної із підмножин X_j множини допустимих розв'язків цієї задачі визначається оцінка $g(X_j)$ значень цільової функції $f(x)$, яка має властивості (10) – (12):

$$g(X_j) \leq f(x), \forall x \in X_j \text{ (у задачах на мінімум)}; \quad (10)$$

$$g(X_j) = f(\tilde{x}), \text{ якщо } |X_j| = 1, X_j = \{\tilde{x}\} \quad (11)$$

$$g(X_j) = +\infty, \text{ якщо } X_j = \emptyset \text{ (у випадку задачі на мінімум)} \quad (12)$$

Для обчислення оцінки $g(X_j)$ цільової функції $f(x)$ цієї задачі може бути розв'язана інша проста задача оптимізації, яку назвемо оцінювальною. Нехай сформульована задача (13):

$$f(x) \rightarrow \min, x \in X_j, \forall j \in J \quad (13)$$

Для задачі (13) розглядають оцінювальну задачу (14):

$$j(x) \rightarrow \min, x \in \tilde{X}_j \supset X_j, \forall j \in J \quad (14)$$

Оцінювальна задача (14) має відповідати таким умовам:

- якщо оцінювальна задача (14) не має допустимих розв'язків, то і задача (13) не має допустимих розв'язків;
- значення цільової функції розв'язків задачі (13) не гірше, ніж значення цільової функції розв'язку задачі (14).

Для цієї задачі оцінка цільової функції (3) визначається за правилами (15), (16):

$$g(X_j) = g(\bar{X}) + c_j \quad (15)$$

$$g(X_j) = g(\bar{X}) \quad (16)$$

Вираз (15) означає, що оцінка $g(X_j)$ підмножин X_j допустимих розв'язків, які містить j -й засіб захисту від впливу екологічних факторів, дорівнює оцінці $g(\bar{X})$ розгалуженої множини розв'язків, збільшеної на вартість цього засобу захисту. Оцінка множини розв'язків, які не містять j -го засобу захисту, дорівнює оцінці розгалуженої множини (16).

Процедура тестування

У процесі послідовного розгалуження множини розв'язків X вилучаються ті із підмножин, про які стало відомо, що вони не містять кращих допустимих розв'язків, ніж рекордний. Вилучення виконується за допомогою тесту, що ґрунтується на обчисленні оцінок і порівнянні їх з рекордом. Позначимо поточне значення рекорду f^* . Для цієї задачі тест формулюється так: якщо для деякої множини X_j справедливо, що $g(X_j) \geq f^*$, тоді множина X_j вилучається із подальшого розгляду.

Рекорд

Для задачі визначення оптимального комплекту засобів захисту використовується таке поняття рекорду: найкращим є значення цільової функції задачі, що досягається на множині знайдених допустимих розв'язків.

4.4 Застосування методу динамічного програмування до задачі оптимального вибору засобів екологічного захисту

Цей метод застосовується для розв'язання таких задач, прийняття рішень для яких здійснюється у декілька кроків. Динамічне програмування ґрунтується на принципі оптимальності Беллмана, згідно з яким на будь-якому кроці з декількох можливих розв'язків потрібно вибирати такий, за якого вигравш на цьому кроці плюс оптимальний сумарний вигравш на усіх наступних кроках був би максимальним.

Цей метод застосовується для задач, що задовольняють такі вимоги:

- задача оптимізації інтерпретується як n -кроковий процес прийняття рішень;
- цільова функція задачі дорівнює сумі цільових функцій кожного кроку;
- вибір розв'язку на k -му кроці залежить тільки від стану системи до цього кроку і не впливає на попередні кроки (відсутність зворотного зв'язку);
- стан s_k після k -го кроку прийняття рішень залежить тільки від попереднього стану s_{k-1} і розв'язку x_k (відсутність післядії);
- на кожному кроці прийняття рішень x_k залежить від кінцевої кількості управляючих змінних, а стан s_k – від кінцевої кількості параметрів.

Згідно з умовою задачі розділимо засоби захисту на категорії (комплекти), кожна з яких містить взаємовиключні засоби. Наприклад, не можна одночасно використовувати декілька захисних костюмів або протигазів. Цю задачу можна привести до багатокрокового процесу прийняття рішень, якщо припустити, що засоби захисту з кожної категорії вибирають (або не вибирають) послідовно один за одним.

Задамо стан системи парою $\langle j, y_j \rangle$, де j – індекс категорії захисних засобів, що розглядається на поточний момент, $y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{mj})^T$, $j = \overline{1, n}$ – вектор, компоненти якого визначають зменшення негативної дії i -го екологічного фактора $i = \overline{1, m}$ завдяки застосуванню j -го засобу захисту.

Цю задачу можна звести до задачі знаходження найкоротшого шляху в напрямленій ациклічній шаруватій мережі, в якій кожному шару відповідає вибір засобу захисту з певного комплекту, а кожній вершині — вибір певного засобу захисту (або відсутність вибору жодного засобу з комплекту).

Рекурсивна природа задання принципу оптимальності приводить до рекурентного типу співвідношень. Розглянемо виведення рекурентного співвідношення для нашої задачі.

Нехай вибрані засоби з категорій $k = \overline{1, j}$ і при цьому вплив шкідливих факторів зменшено на $y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{ik}, \dots, y_{mj})^T$, $j = \overline{1, n}$, де y_{ik} визначає зменшення негативної дії i -го екологічного фактора $i = \overline{1, m}$ завдяки застосуванню k -го засобу захисту.

За умовою задачі потрібно вибрати такі засоби захисту, щоб вони забезпечили життєдіяльність людини, тобто зменшили вплив шкідливих факторів щонайменше на (17):

$$P = (f_1 - b_1, f_2 - b_2, \dots, f_m - b_m)^T \quad (17)$$

Тоді на y_j можна накласти обмеження $0 \leq y_j \leq P$.

Позначимо через $f_i(y_j)$ мінімальну вартість засобів захисту з категорій $k = \overline{1, j}$, що зменшують вплив i -го екологічного фактора щонайменше на y_j .

Вважатимемо, що вибір засобу захисту x_j з j -ї категорії допустимий, якщо некомпенсований вплив шкідливих факторів після застосування цього засобу можна зменшити засобами захисту з категорій, що залишилися. Умова компенсації впливу екологічних факторів (18):

$$y_{ij} - p_{ij}(x_j) \leq \sum_{k=1}^{j-1} \max(p_{ik}(x_j)), i = \overline{1..m}, \forall j \in J, \quad (18)$$

де $p_{ij}(x_j)$ – міра захисту від впливу i -го екологічного фактора, що забезпечується у разі вибору x_j -го засобу захисту з j -ї категорії.

Якщо x_j -й засіб захисту вибраний з j -ї категорії, він зменшує вплив екологічних факторів навколишнього середовища на величину $p_j(x_j)$, тоді засоби з категорій, що залишилися, повинні зменшити вплив екологічних факторів на $y_j - p_j(x_j)$. Тоді мінімальна вартість засобів захисту з категорій $k = \overline{1, j}$, що зменшують вплив шкідливих факторів на y_j , за умови, що з j -ї категорії вибрано засіб x_j , визначається виразом (19):

$$c_j(x_j) + f_{i-1}(y_j) = p_j(x_j) \quad (19)$$

Захист, що забезпечується вибором засобів з категорій $k = \overline{1, j-1}$, за визначенням функції $f_i(y_j)$ виконується оптимально, отже, сума (19) — це умовно-мінімальна вартість.

Мінімізуємо вираз (3) на допустимих значеннях x_j , які позначимо через x_j^n . Відповідно до умові (4) отримуємо вирази (20) і (21):

$$x_j^n = x_j / \left(y_j^i - p_j^i(x_j) \leq \sum_{k=1}^{j-1} \max(p_{ik}^i(\cdot)), i = \overline{1, M} \right) \quad (20)$$

$$f_j(y_j) = \min_{x_j^n} \left\{ c_j(x_j) + f_{j-1}(y_j - p_j(x_j)) \right\} \quad (21)$$

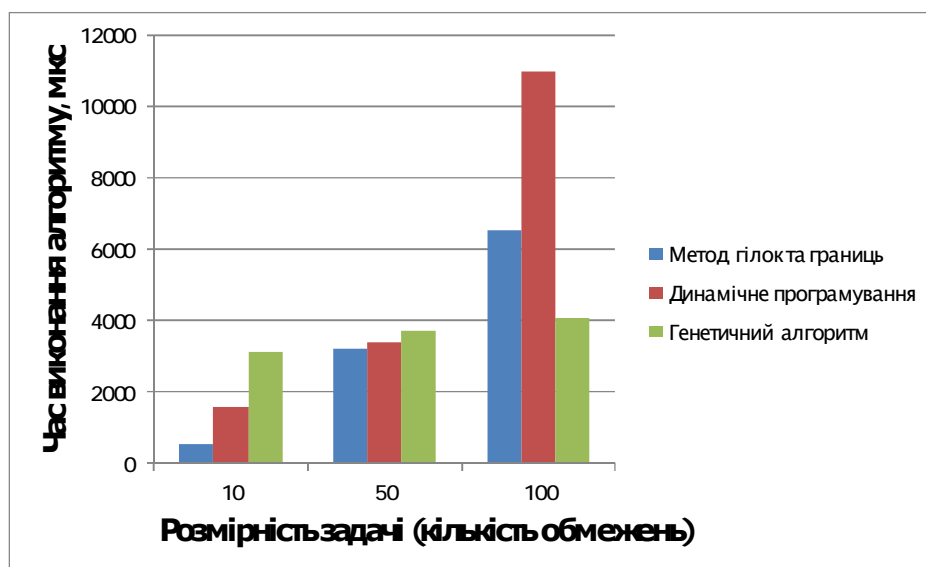
Вираз (21) справедливий при $j=1$, якщо припустити $f_0(\cdot) = 0$. Результатом роботи є значення $f_n(P)$, де P задовольняє (17).

5. Результати тестування

У цій роботі розв'язано задачу пошуку оптимального захисного комплексу за допомогою методу гілок та границь, динамічного програмування та генетичного алгоритму.

За параметри налаштувань ГА взято такі величини: максимальна кількість ітерацій – 5 життєвих циклів; ймовірність кросовера 0.5; ймовірність мутації 0.2; розмір популяції 100 особин; критерій зупинки алгоритму – після досягнення максимальної кількості ітерацій (5 життєвих циклів); схема відбору батьківських особин – кращий з випадковим відбором; в основі мутації схема випадкової зміни одного біта в генотипі (додається або видаляється один засіб захисту); кросовер реалізований стандартним способом

За часом виконання алгоритми показали результати, наведені на рисунку.



Порівняння часу виконання алгоритмів на задачах різної розмірності

Порівняння часової складності алгоритмів показало, що в задачах малої розмірності (10 обмежень) добре проявляють себе точні алгоритми. Так, час виконання задачі методом гілок і границь становить: 520 мкс, методом динамічного програмування 1580 мкс, генетичним алгоритмом 3120 мкс. У задачах середньої розмірності (50 обмежень) алгоритми показують практично однакові результати за швидкодією: час виконання задачі методом гілок і границь – 3200 мкс, динамічним програмуванням 3400 мкс, генетичним алгоритмом 3700 мкс. У задачах великої розмірності добре себе проявляє генетичний алгоритм: 4100 мкс, тоді як метод гілок і границь потребує 6540 мкс, динамічне програмування 11000 мкс.

Отже, на задачах з кількістю обмежень до 50 доцільно застосовувати метод гілок і границь, а також метод динамічного програмування, а в задачах великої розмірності (>50 обмежень) – генетичний алгоритм.

Висновок

Автори проаналізували стан проблеми екологічної інформованості населення та захисту від впливу екологічних факторів, формалізували задачу оптимального вибору засобів захисту від негативного впливу екологічних факторів на людину. Задачу сформульовано в термінах булевого програмування. Розглянуто методи розв'язання поставленої задачі та виконано тестування на задачах малої та великої вимірності. Як перспективу подальших досліджень у цьому напрямі можна відзначити необхідність врахування елементів нечіткої логіки, пов'язаної з відсутністю точних даних про параметри забруднення та наявність засобів захисту або малою за величиною вибіркою даних. Розглянуті елементи алгоритмічних і програмних засобів розв'язання задачі впроваджено в одній з ріелтерських фірм м. Києва.

1.Новый рекорд: Украина – первая в мире по темпам вымирания населения [Электронный ресурс] / режим доступа: <http://rus.newsru.ua/ukraine/05mar2008/>. 2. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 р. № 1264-XII 3.Environmental Interactive Maps [Электронный ресурс] / режим доступа: <http://www.eea.europa.eu> 4.Baltic GIS Portal [Электронный ресурс] / режим доступа: <http://www.gridano/baltic> 5. Холланд Дж. Генетические алгоритмы / Дж. Холланд // В мире науки. – 1992. – № 9–10. – С. 32–40. 6. Батищев Д.И., Неймарк Е.А., Старостин Н.В. Применение генетических алгоритмов к решению задач дискретной оптимизации. – Нижний Новгород, 2007. – 85 с. 7. Жданова Е.Г. Метод ветвей и границ. – К.: НТУУ „КПІ”, 2010. – 58 с.