УДК 514.8
UDC 514.8

Громко[1] Л.С., Пустюльга[2] С.І., Самчук[2] В.П.
[1] Східно-Європейський національний університет
[2] Луцький національний технічний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ "М'ЯКОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ" ПРОЦЕСУ ВИБОРУ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ ВІДПОВІДНО ПРИЙНЯТИХ КРИТЕРІЇВ

У роботі проведені дослідження фрактальних обчислень, як різновиду "м'яких обчислень" на предмет розв'язання багатопараметричних задач оптимізації в техніці та економіці. Удосконалена модель синтезування фрактоїдів потрібної розмірності. Запропоновано модель графа, який суттєво спрощує пошук оптимальних параметрів дискретного простору рішень оптимізаційної задачі. Розроблена в середовищі Mathcad 15 програма автоматичної генерації елементів гіперкубів у n-вимірних просторах. Запропоновано алгоритми, які дозволяють із мінімальними затратами часу та ресурсів розв'язати задачу оптимізації вибору легкового автомобіля з найкращими характеристиками, при заданих обмеженнях клієнта у фінансових ресурсах.

Ключові слова: "м'які обчислення", фрактальні обчислення, фрактоїди, дискретний простір розв'язків, код Грея, оптимізація.

Постановка задачі. При розв'язанні багатопараметричних оптимізаційних задач у техніці часто використовуються так звані "м'які" або слабко структуровані системи. Такі системи можуть адаптуватися до умов зовнішнього середовища, а піддаючись довготривалим діям, вони здатні зберігати свою суть і прагнення до еволюції. Причини, що впливають на складність таких систем, базуються на відносинах між елементами системи, між системою і навколишнім середовищем, вони достатньо різноманітні і погано піддаються формалізації [1].

Математичні моделі функціонування даних систем мають властивість слабкої конструктивності, розпливчатості причинно-наслідкових зв'язків, неоднозначності реакції на зовнішні фактори, і тому будуються на основі методів нечіткої логіки і, так званих, "м'яких обчислень".

Термін "м'які обчислення" був введений у 1994 р. засновником теорії нечітких множин Л.Заде. Після цього, традиційний термін "штучний інтелект" стали пов'язувати з "жорсткими", точними обчисленнями, в основі яких лежать або символьні перетворення, або булева логіка. Термін "обчислювальний інтелект" пов'язують із концепцією "м'яких" обчислень і "м'яких" знань про поставлену проблему [6].

Основна відмінність "м'яких обчислень" від традиційних "жорстких", точних обчислень полягає у пристосованості до роботи з неточними, невизначеними або частково істинними знаннями, що виражається у прийнятті інколи неточних, невизначених і частково істинних результатів для досягнення зручності вільного вибору, маніпулювання результатами, низькій вартості рішення і кращого узгодження з конкретною реальною задачею. "М'які обчислення" не гарантують, що знайдене рішення є оптимальним або буде досягнутий глобальний екстремум за прийнятний час. Вони націлені на пошук "досить прийнятного" рішення задачі за "досить короткий час".

Оптимізаційних задач такого типу в практиці достатньо багато. Тому дослідження і розвиток підходів до "м'яких обчислень" у різних галузях науки є, на наш погляд, актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень. У роботах А.С. Семенова [2,3,4,5] вводиться новий різновид "м'яких обчислень" - фрактальні обчислення на основі фрактоїдів. Фрактоїд - це структура алгебри, що включає фрактальну алгебру над самоподібними множинами (графами). Ця структура є динамічною системою, яка складається з наступних компонент:

- початкового графа;
- базового набору правил, що породжують самоподібну множину;
- логічній функції придатності.

При роботі фрактоїда для кожного графа, починаючи з початкового, обчислюється значення функції придатності, яка перевіряє виконання заданих критеріїв. Якщо критерії не виконуються, то формується наступний граф.

Процес розвитку відображається ланцюжком фрактоїдів, тобто послідовністю послідовностей подібних фрактальних графів.

Властивість - "подібності" використовується як визначальний у багатьох наукових працях, пов'язаних із фракталами. Класичне визначення фрактала було наведене Мандельбротом на основі самоподібності і фрактальної дробової розмірності: частина фрактальної структури подібна до цілого, частина містить не менше деталей, ніж ціла структура. Для опису фрактальних процесів застосовуються ітеровані відображення. Результатом є самоподібна або фрактальна множина. Така множина може включати структури, що повторюються, нескінченне число раз.

З метою узагальнення перерахованих процесів ітерації відображень і однакового представлення різних класів фрактальних систем, у роботах [3,4] була розроблена структура алгебри фрактоїд та фрактальні алгоритми спрямованого пошуку, що дозволяють досліджувати загальні закономірності побудови і поведінки систем.

За допомогою фрактальних обчислень розв'язано низку прикладних оптимізаційних задач. Однак, більшість із них була пов'язана із вибором ефективних стратегій тільки в економіці і зовсім не досліджувалися питання врахування низки обмежень для функцій оптимізації, без яких не може обійтися практично жодна технічна задача.

Мета роботи. Дослідити можливості фрактальних обчислень, як різновиду "м'яких обчислень" на предмет розв'язання багатопараметричних задач оптимізації в техніці та економіці. Розробити модель синтезування фрактоідів потрібної розмірності. Розробити модель графа, який би суттєво спростив пошук оптимальних параметрів дискретного простору рішень задачі. Розробити в середовищі **Mathcad 15** програму автоматичної генерації елементів гіперкубів у ***n***-вимірному просторі.

Основна частина. Визначення самоподібних множин, за допомогою системи перетворень подібності, дозволяє у математичний апарат ввести оператори фрактальної алгебри, що використовуються для побудови моделей об'єктів та процесів.

Основні елементарні операції, що становлять базис фрактальної алгебри, покажемо на прикладі формування *n*-вимірних гіперкубів (графів), компоненти яких закодовані кодом Грея:

1. Копіювання (позначається $\equiv$) виконується над вихідним об'єктом-прототипом $\mu = (B, P)$, де B - множина вершин прототипу, P - множина його ребер. Результатом операції є копія об'єкта-прототипу. Ця операція проілюстрована на рис. 1.

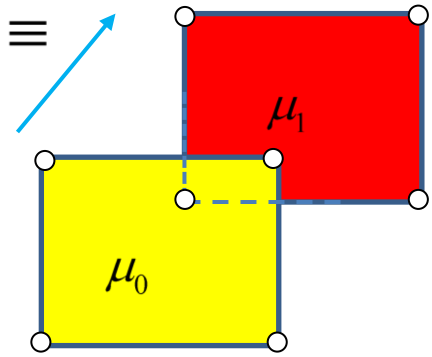


Рис. 1. Операція копіювання фрактоіда

2. З'єднання - бінарна операція (позначається $\oplus$), яка виконується над виділеними ізоморфними вершинами об'єкта-прототипа і об'єкта-копії. Результатом є об'єкт μ, у якому ізоморфні вершини з'єднані ребрами. Ілюстрація цієї операції наведена на рис. 2. Результатом з'єднання є пари ізоморфних вершин об'єкта $\mu = \mu_0 + \mu_1$.

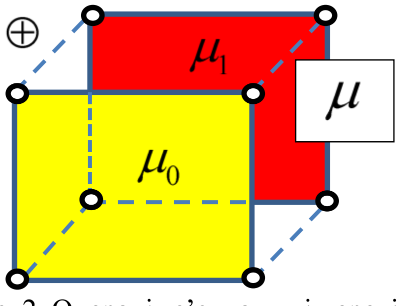
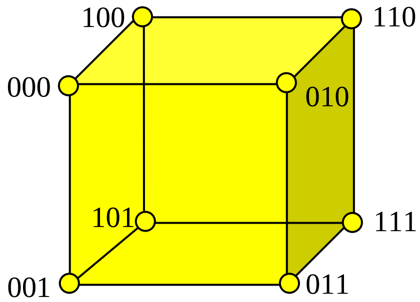


Рис. 2. Операція з'єднання і перехід в інший простір

3. Розбиття (позначається $\doteq$) виконується над певними компонентами заданої множини і

полягає у визначенні іншої самоподібної множини з рівними коефіцієнтами подібності (рис.3).



$$\mu_1 \doteq при \to s = 2$$

Рис. 3. Операція розбиття фрактоїда

Відтак, **фрактальною алгеброю** називається оператор $S = (\mu(\equiv, \oplus, \doteq))$ над об'єктом μ, де $\equiv, \oplus, \doteq$ - відповідні елементарні операції над об'єктом.

Фрактоідом будемо називати алгебраїчну систему $Q^s = (\mu_0, A, T)$, де

μ_0 - початковий обєкт;

A - набір правил породження фрактальних об'єктів шляхом послідовного застосування операцій фрактальної алгебри;

T - впорядкована множина фрактальних об'єктів певного класу, що сформовані з μ_0 за допомогою правил *A*,

s - крок, на якому виконано відображення *Q*, що визначає розмірність фрактоїда.

Застосовуючи різні правила породження *A* до початкового об'єкту, заданого однією вершиною, можна отримати послідовність стандартних фрактальних об'єктів, що належать різним класам графів.

У зв'язку із вищевикладеним спробуємо сформулювати задачу "м'якої оптимізації" за допомогою використання дискретного структурного простору. Нехай необхідно знайти якийсь вектор із параметрами $u = (u_1, u_2, u_3, \ldots u_n)$ з певною заданої області U, який обертає у максимум багатопараметричну цільову функцію $f(u) = (u_1, u_2, u_3, \ldots u_n)$.

Функція $f(u) = (u_1, u_2, u_3, \ldots u_n)$ повинна набувати додатних значень на обмеженій області визначення, при цьому зауважимо, що для цього вона може бути необов'язково неперервною, тобто може бути заданою дискретно числовим рядом.

За теоремою Вейерштрасса, функція, що визначена на не порожній замкнутій обмеженій множині обов'язково досягає свого максимуму принаймні в одній із точок цієї множини.

У загальному випадку глобальний максимум у точці u_n області визначення U характеризується $f(u_n) \Rightarrow f_{\max}(u)$ для усіх u_n належних U, що має на увазі можливість існування декількох максимумів, що називаються слабкими глобальними максимумами.

Максимум у точці u_n називають локальним (відносним, м'яким), якщо знайдеться такий окіл $O(u_n)$ точки u_n, що для усіх u належних $O(u_n)$ має місце $f(u_n) \Rightarrow f_{\max}(u)$.

Нехай кожен параметр функції $f(u) = (u_1, u_2, u_3, \ldots u_n)$, кодується k- бітовим кодом Грея:

Таблиця 1

Формалізоване кодування параметрів оптимізації

Параметри	***Значення k-біт із 0 або 1***
u_1	1*…**0*
u_2	*0…**1*
u_3	**…*10*
….	….
u_n	**…****

У роботі [2] було доведено два твердження відносно такої постановки задачі оптимізації.

1. Бітове представлення конкатенації рядків впорядкованої множини параметрів функції $f(u)=(u_1,u_2,u_3,....u_n)$, закодованих k-бітовим кодом Грея, є код Грея розмірністю $s=k*n$.

2. Вектор, закодований у бітовому представленні конкатенації рядків, що перетворює у максимум задану цільову функцію $f(u)=(u_1,u_2,u_3,....u_n)$, може бути отриманий із розміченого фрактоїда Q^s, де $s=k*n$, n - число параметрів функції $f(u)=(u_1,u_2,u_3,....u_n)$, k - розмірність коду Грея, що кодує параметри. Причому, за “м’який” глобальний максимум функції приймається код $1111^s....$, а за “м’який” глобальний мінімум – код $0000^s....$, де s - розмірність фрактоїда.

Приклад ілюстрації вірності таких тверджень для трипараметричної цільової функції $f(u)=(u_1,u_2,u_3)$, закодованої 1-бітовим кодом Грея наведено на рис. 4.

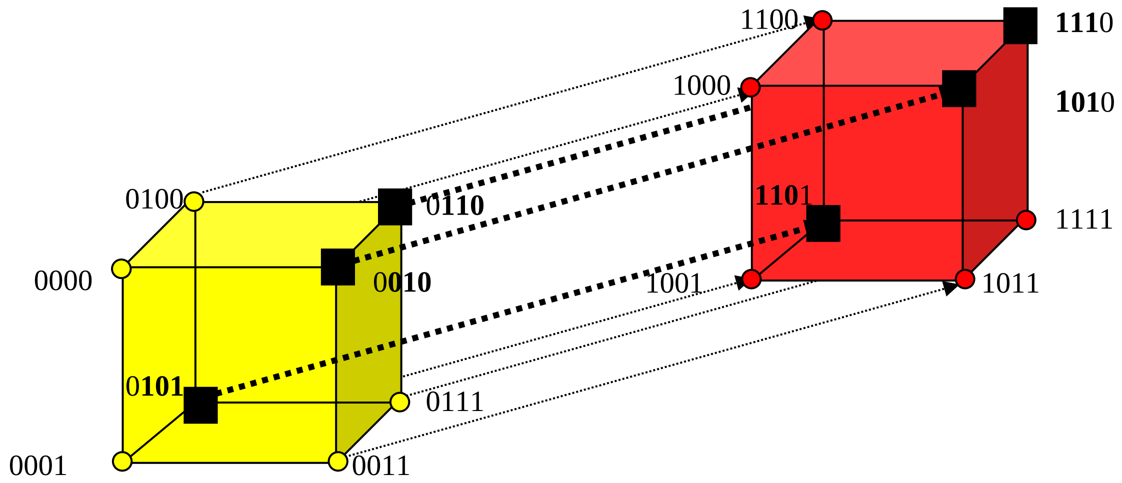


Рис. 4. Приклад трипараметричної цільової функції, закодованої кодом Грея

Із рисунка видно, що при пошуку максимуму цільової функції задана розмітка вершин $(101, 010, 110)$ пересувається у відповідні вершини об'єкту-прототипу. Для фрактоїда Q^4 маємо $(1101, 1010, 1110)$. Після операції розбиття коду $\doteq s$, $s=3$ отримаємо $(110, 101, 111)$. Одна із вершин досягла максимуму і можна зупиняти обчислення.

Представлений фрактальний алгоритм - це математичний алгоритм, що перетворює, за допомогою засобів фрактальної алгебри, самоподібну дискретну множину індивідуальних помічених математичних об'єктів, представлених у вигляді коду, встановленої довжини, в нову самоподібну множину з поміченими об'єктами перетворення. А фрактальний пошук з математичної точки зору - це послідовне перетворення однієї скінченної самоподібні множини проміжних рішень в інше. Цільова функція для фрактального алгоритму задається в термінах коду Грея як максимальний (або мінімальный) код заданої розмірності початкового фрактоїда s.

На рисунках 5,6,7 наведено приклади ілюстрації процесів розвитку “м’яких систем” за допомогою ланцюжків фрактоїдів, тобто послідовністю послідовностей самоподібних фрактальних графів різної розмірності з вільними параметрами кодів Грея, які в генетичних алгоритмах прийнято називати шимами, а по суті це є гіперплощини, які визначають сукупності компонент n-вимірного графа.

Отже, процес розвитку фрактоїдів можна подати загальним виразом виду:

$$Q^n = Q^{n-1} + P^{n-1}, \qquad (1)$$

де - $P^{n-1} \equiv Q^{n-1}$ є прототипом Q^{n-1}, отрманий шляхом копіювання.

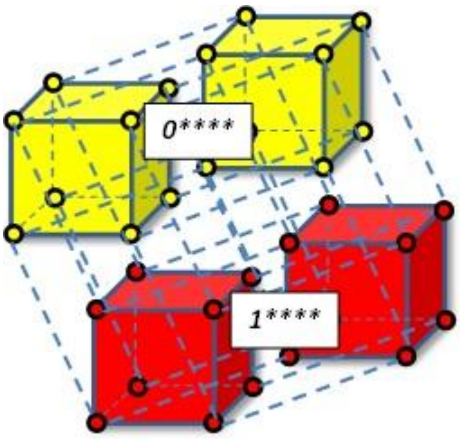


Рис. 5 – 5-вимірний гіперкуб

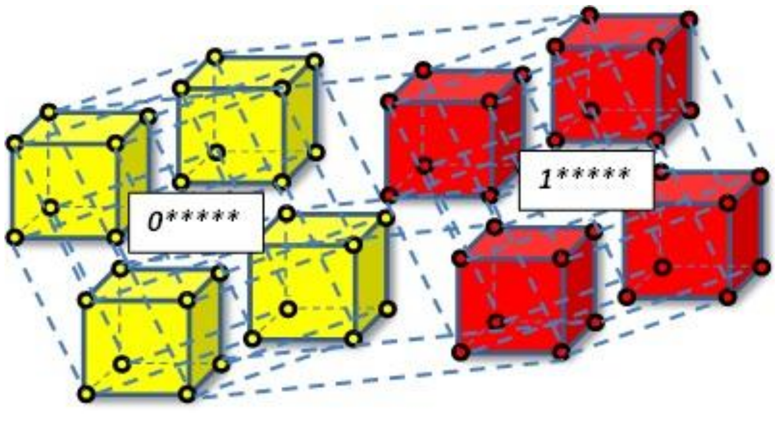


Рис. 6 – 6-вимірний гіперкуб

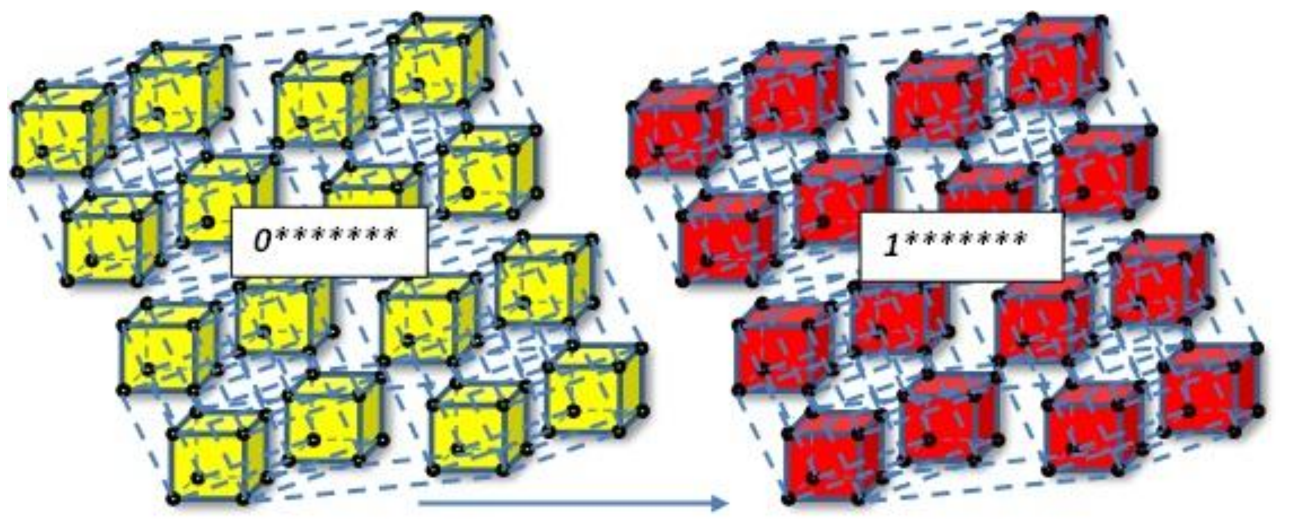


Рис. 7 – 8-вимірний гіперкуб

Використовуючи запропонований апарат, розв'яжемо задачу оптимізації вибору легкового автомобіля із низки запропонованих, кожен із яких оцінюється n параметрами. У загальному формальну постановку задачі оптимізації процесу вибору представимо наступним чином:

$$MF(u) = \sum_{1}^{n} \alpha_n u_n \to \max$$

$$\sum_{1}^{n} \beta_n \alpha_n u_n \le S \qquad (2)$$

$$\forall n : u_n = 1, 2 \ldots n,$$

де $MF(u)$ - цільова функція якості вибраних параметрів автомобіля, а другий - обмеження, що накладаються на параметри відповідно до наявних грошових ресурсів;

α_n - коефіцієнти, що визначають важливість того чи іншого параметру (показника) автомобіля для конкретного покупця;

u_n - вектор параметрів (характеристик) оптимізації автомобіля,

β_n - коефіцієнти, що визначаються із частки вартості вузлів, агрегатів та систем у загальній вартості ТЗ для врахування обмежень на цільову функцію,

S - закодоване формальне обмеження грошових ресурсів клієнта, виділених для купівлі автомобіля,

n - кількість параметрів (характеристик) оптимізації автомобіля.

Необхідно знайти вектор $u = (u_1, u_2, u_3, ... u_n)$ оптимальної комбінації параметрів якості автомобіля при заданих обмеженнях на грошові ресурси клієнта.

Спробуємо конкретизувати таку постановку задачі. Нехай клієнт збирається купити автомобіль, вибираючи один із 9 запропонованих варіантів. Кожен автомобіль оцінюється за чотирма параметрами (показниками): зовнішній дизайн автомобіля, комфортність, енергоємність та керованість ТЗ. За допомогою фрактальних обчислень знайдемо комбінацію із чотирьох заданих параметрів, які будуть вважатися найкращими для клієнта при заданому рівні його фінансових можливостей.

Для побудови фрактоідів формалізуємо поставлені вимоги та закодуємо потрібні параметри (таблиця 2).

Таблиця 2

Кодування параметрів оптимізації автомобіля

N	Параметри оптимізації	Формалізоване значення параметрів	Код Грея
1	Зовнішній дизайн	- Гарний - Прийнятний - Слабо прийнятний	- 10 - 11 - 01
2	Комфортність	- Висока - Середня - Низька	- 10 - 11 - 01
3	Енергоємність	- Велика - Середня - Низька	- 10 - 11 - 01
4	Керованість	- Висока - Середня - Низька	- 10 - 11 - 01
5	Вартість автомобіля	Менше 20 тис у.о. 20-25 тис у.о. 25-30 тис у.о. 30 - 40 тис у.о. Більше 40 тис у.о.	**Код** 19.9 24.9 29.9 39.9 41

В результаті кодування вектору параметрів оптимізації в таблиці 3 наведемо можливі комбінації параметрів для формально вибраних 9 автомобілів.

Таблиця 3

Можливі комбінації вектору параметрів автомобіля

N	**Дизайн**	**Комфортність**	**Енергоємність**	**Керованість**	**Вартість (код)**
1 автомобіль	Гарний	Висока	Велика	Висока	41
2 автомобіль	Гарний	Висока	Велика	Середня	39.9
3 автомобіль	Прийнятний	Висока	Середня	Висока	24.9
4 автомобіль	Гарний	Середня	Низька	Висока	24.9
5 автомобіль	Прийнятний	Висока	Низька	Висока	24.9
6 автомобіль	Гарний	Середня	Низька	Низька	24.9
7 автомобіль	Прийнятний	Висока	Низька	Середня	24.9
8 автомобіль	Прийнятний	Низька	Велика	Середня	19.9
9 автомобіль	Слабо прийнятний	Низька	Середня	Середня	19.9

Наголошуємо, що кількість параметрів, вибраних у задачі, кількість критеріїв які кодують кожний параметр є умовними, їх число може зростати або зменшуватись відповідно до поставлених завдань. Крім того, в задачах можуть вибиратися конкретні марки автомобілів з кодуваннями за даною схемою, виконаною фахівцями.

Для формування обмежень оптимізаційної задачі наведемо у таблиці 4 експертні, наближені показники процентного відношення вартості вузлів, агрегатів та систем до загальної вартості легкового ТЗ.

Таблиця 4

Експертні показники відношення вартості вузлів, агрегатів та систем до загальної вартості ТЗ

N	Характеристики автомобіля	Вузли, агрегати та системи, що впливають на характеристики	Наближена вартість вузлів, агрегатів та систем по відношенню до повної вартості ТЗ в %
1	Зовнішній дизайн	Кузов в металі із зовнішнім обладнанням	20 - 25%
2	Комфортність	1.Салон автомобіля, системи комфортності та управління 2.Підвіска у зборі	20% 10 - 12%
3	Енергоємність	Двигун зі зчепленням і навісним обладнанням	16 - 20%
4	Керованість	Електронні системи керування та контролю	5 - 20%
5	-	Інші	3 - 29%

Тоді формальна постановка задачі оптимізації вибору параметрів автомобіля конкретизується до виду:

$$\begin{aligned} & MF(u) = \phi\alpha_1 u_1 + \phi\alpha_2 u_2 - \phi\alpha_3 u_3 + \phi\alpha_4 u_4 \to \max \\ & \phi\beta_1\alpha_1 u_1 + \phi\beta_2\alpha_2 u_2 + \phi\beta_3\alpha_3 u_3 + \phi\beta_4\alpha_4 u_4 \le S \\ & \forall n : u_n = 1, 2, 3., \end{aligned} \tag{3}$$

де ϕ- коефіцієнт нормування кодованих оптимізаційних параметрів цільової функції і кодованої вартості ТЗ, у нашому випадку - $\phi = \frac{5}{2}(40-20) = 50$.

Параметри u_n (як видно із таблиці 2) можуть набирати трьох значень. Нехай важливість, тобто домінування параметрів автомобіля покупець визначив коефіцієнтами: $\alpha_1 = 0.4$, $\alpha_2 = 0.2$, $\alpha_3 = 0.3$, $\alpha_4 = 0.1$.

Коефіцієнти β_n, що визначають частку вартості вузлів, агрегатів та систем у загальній вартості ТЗ для забезпечення параметрів оптимізації, враховуючи експертну оцінку (таблиця 4) будуть приймати наступні значення: $\beta_1 = 0.22$, $\beta_2 = 0.3$, $\beta_3 = 0.17$, $\beta_4 = 0.15$. Закодований параметр обмежень у грошових ресурсах, для прикладу, приймемо: $S = 24.9$.

Оскільки кожен параметр може набувати тільки трьох значень, достатньо використати код Грея розмірністю 2.

Тоді, відповідно вище викладеному, задана цільова функція, без врахування обмежень, досягне "м'якого" глобального максимуму при досягненні хоча би однієї з вершин синтизованих фрактоідів максимального значення бітового коду $s = k * n = 2 * 4 = 8$, у коді ***11111111,*** причому Q^n буде мати розмірність 8.

Побудуємо двовимірний фрактоід гіперкуба Q^2 (рис. 8), розмічену вершину **00**, виключену із розгляду на рис. 8 позначимо чорним кружком. Тоді дискретний простір розв'язків повинен включати тільки усі можливі комбінації **01, 11** і **10**. На рисунку 8 ребра двовимірного гіперкуба позначено *1 і 1*. Зірочка задає один вільний параметр одновимірної гіперплощини.

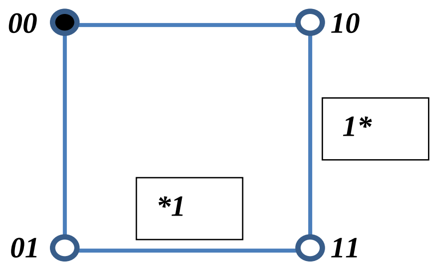


Рис. 8. Розмітка двовимірного фрактоїда для синтезування

Щоб уникнути повного перебору дискретного простору розв'язків будемо відсіювати вершини, у яких конкатенації рядків явно не відповідають поставленій задачі. Так, наприклад, із гіперкуба фрактоїда у просторі Q^5 окрім чорної вершини, виключеної із простору розв'язків ще на етапі формування фрактоїда Q^2, треба виключити вершини, які належать шимі 000*1 і 0001*. Комбінація коду такої гіперплощини з одним вільним параметром і трьома нулями поряд, апріорі, вже не зможе бути розв'язком задачі оптимізації.

Синтезування фрактоїдів за схемою (1) у просторах великої розмірності має певні труднощі як у графічній інтерпретації гіперкубів, так і розмітці вершин гіперкубів та відповідних шим. Тому, у середовищі **Mathcad 15**, була розроблена програма автоматичної генерації усіх вершин та шим гіперкубів у просторі Q^n. Для роботи програми слід задати тільки кількість параметрів оптимізаційної задачі та кількість біт коду Грея, необхідних для кодування одного параметру (рис.9).

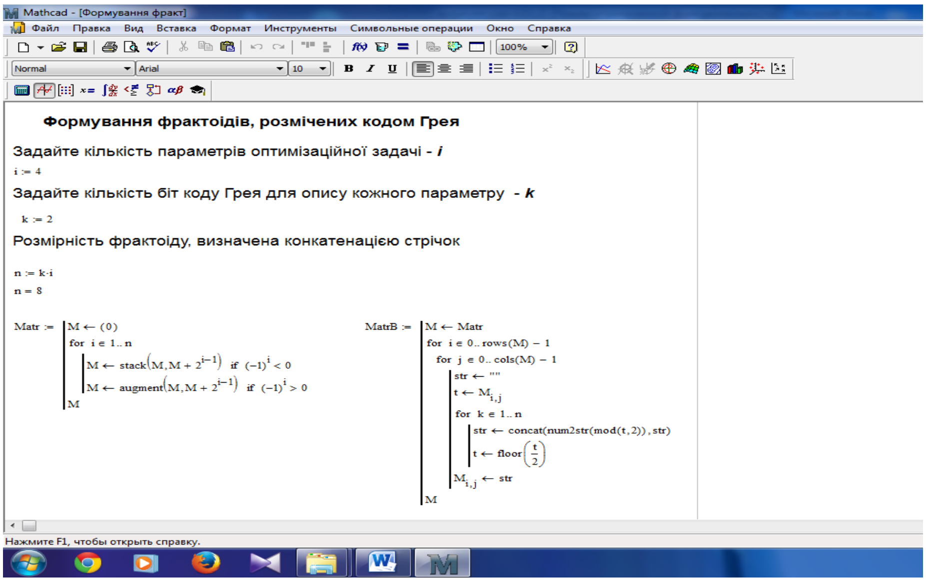


Рис. 9. Програма автоматичної генерації кода Грея

Програма автоматично визначає розмірність фрактоїду, кількість вершин гіперкуба та коди Грея для кожного елементу синтезованого образу (рис. 10).

Крім того, у даному алгоритмі достатньо важлим є контроль дискретного простору розв'язків задачі на кожному із етапів синтезування і розмітки фрактоїдів у просторах Q^2, Q^3, Q^4, Q^5, Q^6, Q^7 та Q^8. Такий контроль не тільки може суттєво скоротити дискретний простір розв'язків задачі, але й значно зменшити час розрахунків для отримання результатів.

З цією метою у роботі запропоновано конструкцію графа, що дозволяє, по-перше, спростити візуалізацію процесів синтезування фрактоїдів різної розмірності з їх компонентами, а по-друге, максимально скоротити час аналізу дискретного простору параметрів задачі. Граф, який забезпечує синтез фрактоїдів для нашої тестової задачі наведений на рис. 11, де кольором виділені гіперплощини гіперкубів дискретного простору, які явно не можуть бути розв'язками задачі.

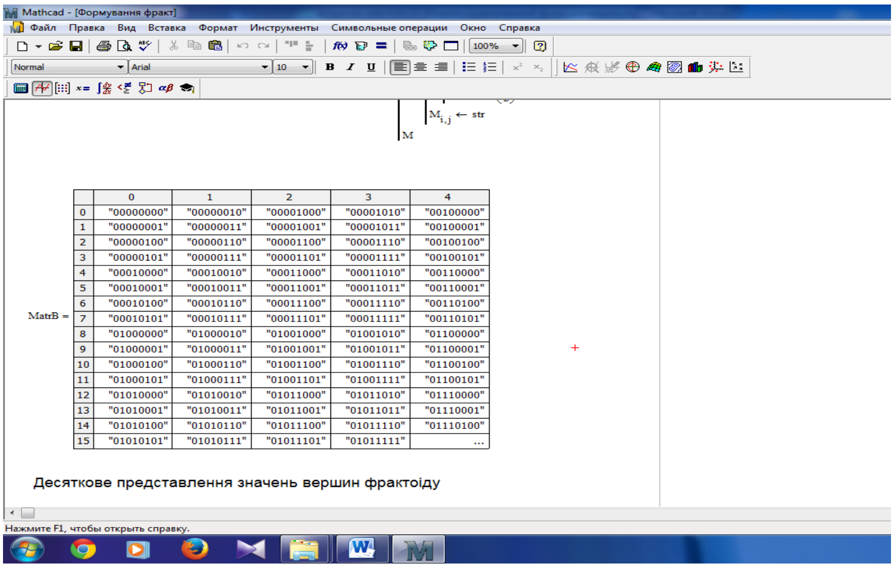


Рис. 10. Результати роботи програми для 8-вимірного простору

Як видно із обчислень, після розмітки фрактоїду Q^2 не вимагається визначати які числа містить код Грея.

Аналізуємо та декодуємо отримані результати. Дискретний простір розв'язку поставленої задачі є множина векторів виду:

N	***Код Грея***	***Fitness***
1	***101001****	$-\infty$
2	***101011****	$-\infty$
3	***10110110***	***80***
4	***101111****	$-\infty$
5	***111001****	***70***
6	***101010****	$-\infty$
7	***101110****	$-\infty$
8	***100101****	***70***
9	***100111****	***55***
10	***100110****	***40***

Дискретний простір розв'язків задачі

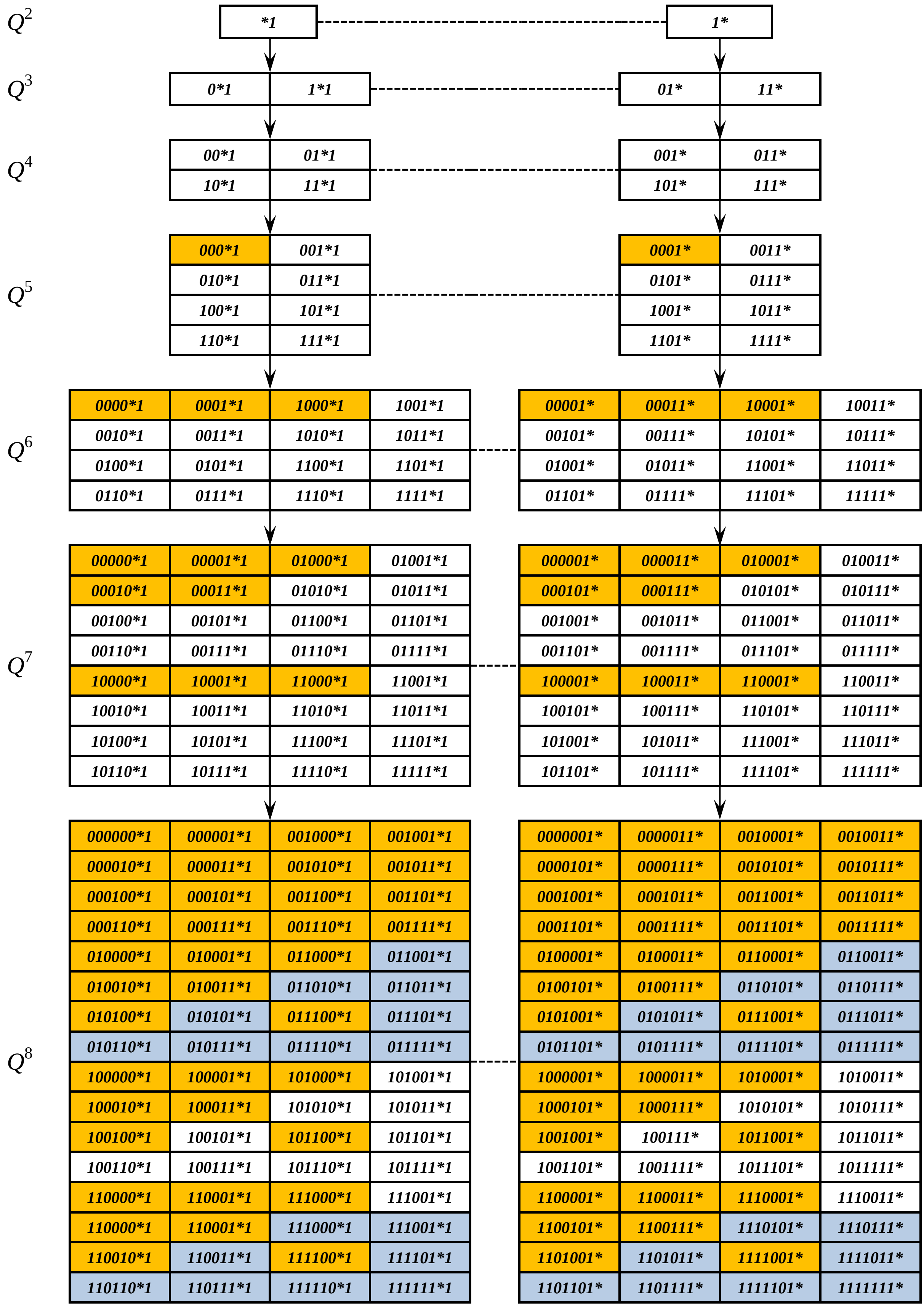


Рис. 11. Модель графа, що забезпечує синтез фрактоіда

Розв'язок тестової задачі отримується при декодуванні і підстановки чисел в цільову функцію.

Таким чином, оптимальним рішенням вибору автомобіля за заданими критеріями є вектор параметрів ***10110110 (3,2,1,3),*** що відповідає 4 автомобілю.

Висновок. У роботі проведені дослідження фрактальних обчислень, як різновиду “м’яких обчислень” на предмет розв’язання багатопараметричних задач оптимізації в техніці та економіці. Удосконалена модель синтезування фрактоідів потрібної розмірності. Запропоновано модель графа, який суттєво спрощує пошук оптимальних параметрів дискретного простору рішень задачі. Розроблена в середовищі Mathcad 15 програма автоматичної генерації елементів гіперкубів у ***n***-вимірних просторах. Запропоновані алгоритми дозволили із мінімальними затратами часу та ресурсів розв’язати задачу оптимізації вибору легкового автомобіля з найкращими характеристиками, при заданих обмеженнях клієнта у фінансових ресурсах.

1. Н.Г. Ярушкина. Прикладные интелектуальные системы, основанные на мягких вычислениях// Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 139 с.
2. А.С. Семенов. Фрактальная алгебра как основа фрактальной парадигмы программирования // Информационные технологии и Вычислительные системы. М.: №2, 2006.- С. 64-70.
3. А.С. Семенов. Построение класса фрактальных систем по шаблону на примере дерева Фибоначчи // Информационные технологии и Вычислительные системы. М.: №2, 2005.- С.10-17.
4. А.С. Семенов. Фрактальное построение n-мерных гипер-кубовых архитектур в структурном пространстве // Информационные технологии и Вычислительные системы. М.: №2, 2007.- С. 42-50.
5. А.С. Семенов. Архитектурно-ориентированный подход к моделированию информационных систем // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2006. – №11.
6. J. Koza. Genetic programming. London: Massachusetts Institute of Tehnology. 1992. – 799 p.

REFERENCES

1. Yarushkina, N. (2004). *Application of intellectual systems based on soft calculations* [*Prikladnye intellektualnye sistemy osnovannye na myagkikh vychisleniakh*]. Ulyanovsk : Publ. UlSTU. – 139 p.
2. Semenov, A. (2006). Fractal algebra as basis of fractal paradigm of programming [Fractalnaya algebra kak osnova fractal’noy paradigmy programmirovaniya]. *Information Technologies and Computer Systems.* [*Informatsyonnye technologii i vychislitelnye sistemy*]. Moscow, №2, pp. 64-70.
3. Semenov, A. (2005). Construction of fractal systems class by the template of the example of Fibonachi tree [Postroenie klassa fractalnykh system po shablonu na primere dereva Fibonachi]. *Information Technologies and Computer Systems* [*Informatsyonnye tekhnologii i vychislitelnye sistemy*]. Moscow, №2.- p.10-17.
4. Semenov, A. (2007). Fractal construction of n-measured hypercubic architectures in structural space [Fractalnoe postroenie n-mernykh hiper-kubovykh arkhitektur v strukturnom prostranstve]. *Information Technologies and Computer Systems* [*Informatsyonnye tekhnologii i vychislitelnye sistemy*]. Moscow, №2, pp. 42-50.
5. Semenov, A. (2006). Architecture oriented approach to modelling the information systems [Arkhitekturno orientirovannyi podkhod k modelirovaniyu informatsyonnykh system]. *Devices and Systems. Management, Control, Diagnostics* [*Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol, diagnostika*]. Moscow, №11.
6. Koza, J. (1992). *Genetic programming.* London: Massachusetts Institute of Tehnology. – 799 p.

Громко Л. С., Пустюльга С. И., Самчук В. П. **Математическая модель “мягкой оптимизации” процесса выбора легкового автомобиля соответственно принятых критериев.**

В работе проведены исследования фрактальных вычислений, как разновидности "мягких вычислений" на предмет решения многопараметрических задач оптимизации в технике и экономике. Усовершенствована модель синтезирования фрактоидов нужной размерности. Предложена модель графа, который существенно упрощает поиск оптимальных параметров дискретного пространства решений оптимизационной задачи. Разработана в среде Mathcad 15 программа автоматической генерации элементов гиперкубов в n-мерных пространствах. Предложены алгоритмы, которые позволяют с минимальными затратами времени и ресурсов решить задачу оптимизации выбора легкового автомобиля с наилучшими характеристиками, при заданных ограничениях клиента в финансовых ресурсах.

Ключевые слова: “мягкие вычисления", фрактальные вычисления, фрактоиды, дискретное пространство решений, код Грея, оптимизация.

Hromko L., Pustiulha S., Samchuk V. **Mathematical model of "soft optimization" of process of choice the passenger car according to the accepted criteria**

In this article the fractal calculations, as varieties of "soft calculations", are researched in order to solve the many-parameters tasks of optimization in engineering and economics. The model of synthesis of fractoids of necessary dimension is improved. The model of graph that simplifies the search of optimal parameters of discrete space decision of optimization task is offered. The program of automatic generation of elements of hypercubes is worked out in the environment of Mathcad 15 in n-measured spaces. Algorithms that allow with the minimum expenses of time and resources to decide the task of optimization of choice the passenger car with the best descriptions are offered, at the given financial limitations of clients.

Keywords: "soft calculations", fractal calculations, fractoids, discrete space decision, Grey code, optimization.

АВТОРИ:
ГРОМКО Лілія Сергіївна, Східно-Європейський національний університет, аспірант кафедри економіки, підприємництва та інноваційної діяльності.
ПУСТЮЛЬГА Сергій Іванович, доктор технічних наук, професор кафедри інженерної та комп'ютерної графіки, декан МБФ, Луцький національний технічний університет, e-mail: mbf.dec@mail.ru.
САМЧУК Володимир Петрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри промислового і цивільного будівництва, Луцький національний технічний університет.

АВТОРЫ:
ГРОМКО Лилия Сергеевна, Восточно-европейский национальный университет, аспирант кафедры экономики, предпринимательства и инновационной деятельности.
ПУСТЮЛЬГА Сергей Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной и компьютерной графики, декан МСФ, Луцкий национальный технический университет, e-mail: mbf.dec@mail.ru
САМЧУК Владимир Петрович, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, Луцкий национальный технический университет.

AUTHORS:
HROMKO L., Eastern European National University, Postgraduate student.
PUSTIULHA S., Doctor of Science in Engineering, Professor of Engineering and Computer Graphics Department, Dean of MBF, Lutsk National Technical University, e-mail: mbf.dec@mail.ru
SAMCHUK V., Ph.D. in Engineering, Assoc. Professor of Industrial and Civil Construction Department, Lutsk National Technical University.

РЕЦЕНЗЕНТ:
ПЛОСКИЙ В. О., доктор технічних наук, професор, проректор із наукової роботи, Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ, Україна.

РЕЦЕНЗЕНТ:
ПЛОСКИЙ В.А., доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, Украина.

REVIEWER:
PLOSKYI V., Doctor of Science in Engineering, Professor, Vice Rector of Research, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine.

Стаття надійшла в редакцію 21.04.2015р.