

Methods of optimizational synthesis of packaging machines using genetic algorithm

Bogdan Palchevskyy, Taras Varanitskyy

Packaging and Automation of Manufacturing Processes
Department, Lutsk National Technical University, UKRAINE,
Lutsk, Potebni street 56, E-mail: tarasick@email.ua

B. Palchevskyy, T. Varanitskyy Methods of optimizational synthesis of packaging machines using genetic algorithm.

Evolutionary search methods successfully combine the advantages of heuristic methods and methods of mathematical programming.

The genotype of packaging machine is presented by the set of genes, each coding the particular functional module of a machine:

- product feeding tube;
- forming collar
- longitudinal seaming module ;
- drawing module;
- cross-seaming module;
- cutting module ;
- mechanisms of fold formation;
- mechanisms of forming the bottom and the top of a package.

The value of each gene at the start is determined by pseudorandom number generator and may be changed by mutation operator during the genetic algorithm run.

The structure of a machine is optimized by several criteria (e.g. versatility, complexity, cost, energy, etc.) that form a complex cost function evaluating each member of the pool during the genetic algorithm operation.

The genetic algorithm ends up with building a histogram (fig. 1) presenting the genotype of the optimal result. The phenotype is obtained by decoding the value of each gene. The 3D result models of several genetic algorithm runs are presented on fig. 2-4.

Методика оптимізаційного синтезу пакувальних машин із застосуванням генетичного алгоритму

Богдан Пальчевський, Тарас Вараніцький

Кафедра пакування та автоматизації виробничих процесів, Луцький національний технічний університет, УКРАЇНА, м.Луцьк, вул.Потебні, 56, E-mail: tarasick@email.ua

Б. Пальчевський, Т. Вараніцький Методика оптимізаційного синтезу пакувальних машин із застосуванням генетичного алгоритму. Розглянуто методику оптимізаційного синтезу структури пакувального автомата за допомогою генетичного алгоритму та описано конструкцію генерованої машини.

Ключові слова – пакувальний автомат, структура, синтез, оптимізація, генетичний алгоритм.

I. Вступ

Можна виділити три основні групи методів, які дають змогу знайти розв'язок задачі синтезу оптимальної структури пакувальної машини [1]:

- методи математичного програмування;
- евристичні методи;
- методи еволюційного пошуку.

До першої групи методів належать методи лінійного і нелінійного програмування. Як правило, вони гарантують знаходження оптимального рішення, але недоліком цих методів є їх висока обчислювальна складність, яка експоненційно зростає із зростанням розмірності завдання оптимізації [2, 3, 4].

Евристичні методи дають змогу значно скоротити часові витрати на пошук розв'язку, проте за їх допомогою рідко знаходять оптимальне рішення. Безперечною їх перевагою є можливість врахування додаткового набору технологічних обмежень, правда, це звужує і область використання подібних алгоритмів. До того ж, ці методи не захищені від потрапляння в “пастки локального оптимуму” [4].

Порівняно новими виглядають методи еволюційного пошуку: генетичні алгоритми (ГА) і методи генетичного програмування. Ці методи успішно поєднують в собі переваги евристичних методів (швидкий пошук розв'язку близького до оптимального), та передбачають способи виходу з локальних екстремумів [5–7]

II. Опис методики синтезу

Перед початком роботи ГА необхідно задати його параметри, а саме:

- розмір та спосіб генерування початкової популяції
- обмеження (при наявності)
- цільову функцію
- метод відбору особин
- тип та ймовірність кросинговеру

- тип та ймовірність мутації
- кількість особин елітного відбору
- умови припинення роботи ГА

Розмір початкової популяції в загальному випадку залежить від кількості змінних та задається перед початком роботи ГА, а перше покоління створюється з допомогою рівномірного генератора випадкових чисел. Нехай для кожного з параметрів p_{ij} , що описують ФМ кількість можливих варіантів N параметра становить n . Кожен з варіантів ставиться у відповідність k -му інтервалу шириною $1/n$ при генерації псевдо-випадкового числа в межах $[0, 1]$.

$$\forall (0 + k \frac{1}{n}) \in N_k \quad (1)$$

Тоді

$$p_{ij} = N_k(\text{rand}[0, 1]) \quad (2)$$

Процес повторюється, поки не будуть заповнені всі коміркі-гени, що описують пакувальний автомат. Для створення популяції з P особин процедуру генерування слід повторити P разів.

Основними характеристиками, що описують пакувальну машину є [8]:

- функції f , реалізацію яких повинна забезпечувати машина (а отже й відповідні їм конструктивні елементи пакета),
- складові модулі для реалізації цих функцій, що представляють базові елементи БЕ та їх комбінації, утворені в результаті дії генетичних операторів O , а також характеристики БЕ X .
- рухи P (основні та допоміжні), які виконують робочі органи, та їх приводи M ,
- зв'язки Z між функціональними модулями (ФМ) в машині.

Тому опис пакувальної машини можна представити, як об'єднання множин її характеристик.

Таким чином, генотип пакувального автомата буде представлений наборами генів, кожен з яких кодуватиме певний ФМ автомата. В результаті хромосома пакувального автомата буде представлена набором зі 106 генів що має вигляд:

$$\begin{aligned} & KBE_{11}X_{11}P_{11}M_{11}KBE_{11}X_{11}P_{11}M_{11}3N \\ & KBE_{12}P_{12}M_{12}KBE_{12}P_{12}M_{12}3N \\ & KOBE_2X_2P_{02}M_{02}P_{d2}M_{d2}KOBE_2X_2P_{02}M_{02}P_{d2}M_{d2}3N \\ & KBE_3X_3P_{03}M_{03}P_{d3}M_{d3}KBE_3X_3P_{03}M_{03}P_{d3}M_{d3}3N \\ & KBE_4X_4P_{04}M_{04}P_{d4}M_{d4}KBE_4X_4P_{04}M_{04}P_{d4}M_{d4}3N \\ & KBE_5P_{05}M_{05}P_{d5}M_{d5}KBE_5P_{05}M_{05}P_{d5}M_{d5}3N \\ & KBE_6P_{06}M_{06}KBE_6P_{06}M_{06}3N \\ & KBE_7P_{07}M_{07}KBE_7P_{07}M_{07}3N \end{aligned}$$

Тут кожен рядок є генетичним кодом певного ФМ (або його частини):

1. труба подачі продукту;
2. комір для згортання плівки;
3. модуль поздовжнього зварювання;
4. модуль протягування;
5. модуль поперечного зварювання;
6. модуль відрізання;
7. механізми утворення складок;
8. механізми підгинання дна та верха пакета.

Гени для основних ФМ будуть мати більший розмір зважаючи на багатоваріантність реалізації технологічних операцій. Для допоміжних механізмів не зазначаються їх додаткові характеристики та виключено можливість застосування різних способів реплікації, оскільки ці ФМ зазвичай механічно зв'язані з відповідними основними ФМ, в іншому випадку їх кількість рівна 2 для утворення елементів конструкції пакета з обох його сторін. Це враховано під час кодування коефіцієнта реплікації. Зважаючи на те, що кодування конструкції основних ФМ відбувається двома блоками генів (рукавоутворювача - чотирма), то ненульове значення K_R позначає дію оператора суміщення (у випадку різнорідних БЕ) або ж дзеркальної реплікації з $K_R=2$ (у випадку однакових БЕ). Ознака, яку описує той чи інший ген визначається його розташуванням в хромосомі. Такий спосіб кодування скорочує час на генерування популяції, та обчислення цільової функції тим самим прискорюючи роботу ГА.

Оскільки робота ГА передбачає отримання оптимального результату, то критеріями оптимізації будуть:

- *кількість типорозмірів готової продукції*, що визначається як добуток варіантів технологічних переходів, які може виготовляти кожен з вузлів,

$$K_{гп} = \prod_{i=1}^N n_i \quad (3)$$

де N – кількість функціональних модулів пакувального автомата, n – кількість варіантів переходів, які реалізовує кожен ФМ.

- *коефіцієнт універсальності*, $K_y \rightarrow \max$, який є добутком коефіцієнтів універсальності ФМ [1]

$$K_y = \prod_{i=1}^N 1 - \frac{1}{n_i} \quad (4)$$

- *коефіцієнт складності* пакувального автомата $K_{скл} \rightarrow \min$, що характеризує кількість самостійних ФМ та їх приводів

$$K_{скл} = 1 - \frac{1}{N_c + N_{np}}, \quad (5)$$

де N_c та N_{np} – кількість самостійних функціональних модулів пакувального автомата та кількість окремих приводів відповідно;

- *енерговитрати*, $E \rightarrow \min$ що характеризують ефективність перетворення різних видів енергії під час роботи пакувальної машини і визначаються як добуток коефіцієнтів корисної дії робочих органів та приводів,

$$E = \prod_{i=1}^N \eta_{ФМ} \cdot \eta_{np} \quad (6)$$

де $\eta_{ФМ}$, η_{np} - ККД функціональних модулів та їх приводів відповідно

- *матеріальні затрати* на виготовлення та обслуговування пакувальної машини, що визначається як відносна ціна основних та допоміжних ФМ, а також сума відносних цін приводів, скоригована на коефіцієнт вартості енергії (для пневмоприводів 1 Дж в 3-4 рази дорожчий, ніж для електромеханічних):

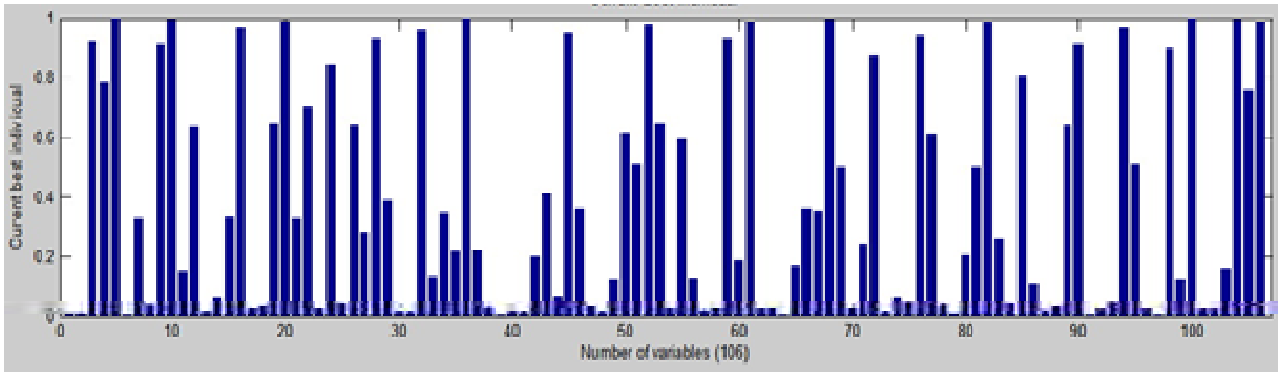


Рис. 1. Гістограма кодованих значень результату, отриманого після роботи ГА

$$B = B_{OB} + B_{ДВ} + B_{np} = \sum_{i=1}^N B_{OBi} + \sum_{i=1}^N B_{ДВi} + \sum_{i=1}^N B_{npi} \cdot K_E \quad (7)$$

де B_{OB} , $B_{ДВ}$, – умовна вартість основних та допоміжних вузлів відповідно, B_{np} , K_E – умовна вартість приводів та коефіцієнт вартості енергії відповідно.

Кінцева цільова функція визначатиметься як

$$F = \sum_{k=1}^j f_k^{\alpha} w_k \quad (8)$$

де ϕ – кількість часткових функцій оптимізації, $\alpha=1$ та $\alpha=-1$ при мінімізації та максимізації критерію відповідно; f_k – значення часткової функції; w_k – ваговий коефіцієнт, причому

$$\sum_{k=1}^j w_k = 1 \quad (9)$$

Для задачі підвищення універсальності найбільш важливими є показники $K_{ГП}$ та K_y , тому приймемо $w(K_{ГП})$ та $w(K_y)$ рівними 0,25. Тоді

$$w(K_{скл}) = w(E) = w(B) = \frac{1 - 0,25 \cdot 2}{3} = 0,16(6) \quad (10)$$

Таким чином отримаємо кінцевий вираз для розрахунку цільової функції:

$$F = 0,25 \cdot \left(\prod_{i=1}^N n_i \right)^{-1} + 0,25 \cdot \left(\prod_{i=1}^N \left(1 - \frac{1}{n_i} \right) \right)^{-1} + 0,167 \cdot \left(1 - \frac{1}{N_e + N_{np}} \right) + 0,167 \cdot \prod_{i=1}^N (h_{om} \cdot h_{np}) + 0,167 \cdot \left(1 - \frac{1}{\sum_{i=1}^N B_{OBi} + \sum_{i=1}^N B_{ДВi} + \sum_{i=1}^N B_{npi} \cdot K_E} \right) \quad (11)$$

Після цього запускається процес виконання ГА, проміжні та кінцеві результати роботи якого виводяться у вигляді гістограм.

III. Опис методики синтезу

В середовищі MATLAB було виконано ГА з наступними характеристиками:

- розмір початкової популяції – 500 особин
- спосіб генерування початкової популяції – рівномірний генератор псевдовипадкових чисел
- обмеження - відсутні
- метод відбору особин – "колесо рулетки"
- тип та ймовірність кросингверу – рівномірний, 60%
- тип та ймовірність мутації – рівномірний, 10%
- кількість особин елітного відбору - 2

- умови припинення роботи ГА – середнє відхилення між значеннями цільової функції $< 1 \cdot 10^{-6}$
- ГА завершився на 110 поколіннях, в результаті отримано оптимальну хромосому зображену на рис. 1. Після розшифрування кодованих значень отримаємо фенотип пакувального автомату (рис. 2).

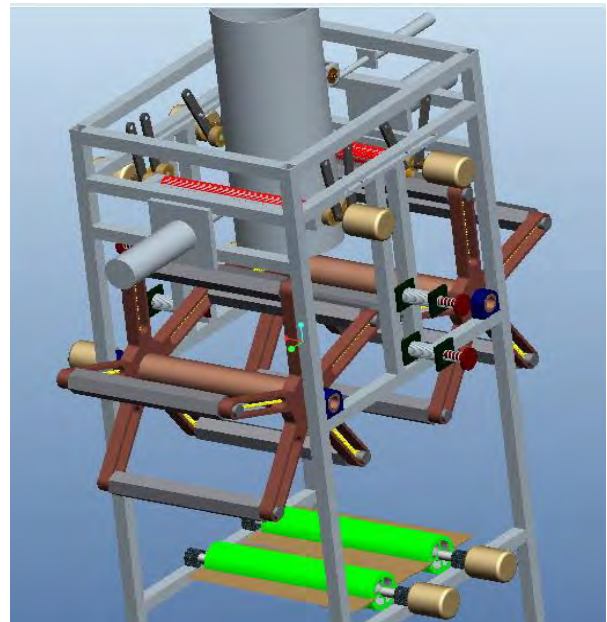


Рис. 2. Віртуальна твердотільна модель пакувальної машини, синтезованої ГА

Пакувальна машина з трубою подачі продукту круглого перерізу. Згорання плівки в рукав відбувається під дією сил, що виникають при проходженні її через механізми поздовжнього зварювання.

Механізм поздовжнього зварювання представлений п'ятьма робочими органами: чотири пари роликів для утворення кутових швів та пара сферичних елементів для утворення центрального поздовжнього шва. Привод роликів – електромеханічний, підведення механізму утворення центрального шва здійснюється пневмоциліндром.

До складу механізму протягування входить два вакуумні ролики, що отримують головний обертовий рух від електродвигуна, та допоміжний зворотно-поступальний – від пневмоциліндра.

Механізм поперечного зварювання містить п'ять пар зварних губок імпульсного нагріву, що здійснюють планетарний рух (привод - електромеханічний).

Відрізання готових пакетів здійснюється механічним способом парою обертових ножів

Віртуальні моделі інших пакувальних машин, структура яких отримана в результаті роботи ГА наведені на рис. 3, 4.

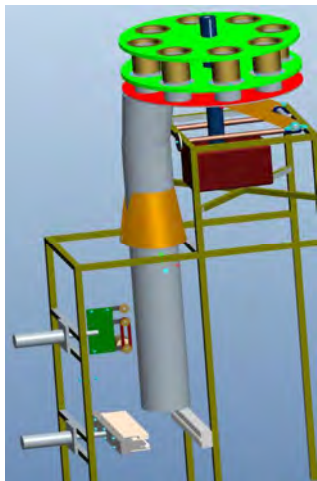


Рис. 3. Віртуальна твердотільна модель пакувальної машини, синтезованої ГА

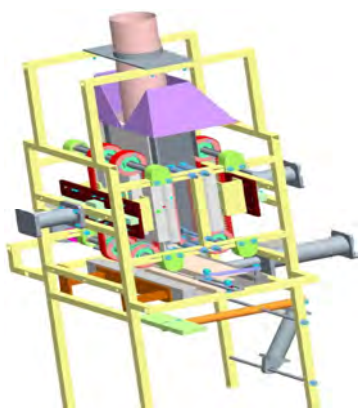


Рис. 4. Віртуальна твердотільна модель пакувальної машини, синтезованої ГА

Висновок

Розроблена методика завдяки застосуванню генетичного алгоритму дозволяє значно скоротити час на вибір структури пакувальної машини та оптимізувати її за заданими критеріями. Розгорнуті кінцеві результати дають можливість прослідкувати напрям розвитку конструкцій пакувального обладнання.

Література

- [1] Пальчевський Б.О. Автоматизація технологічних процесів (виготовлення і пакування виробів): навч. посіб. – Львів: Світ, 2007. – 392с. – С. 48-50, 313-315.
- [2] E. Hadjiconstantinou and N. Christofides, "An exact algorithm for general, orthogonal, two-dimensional knapsack problems" // European Journal of Operational Research – 1995. – №83– p.39-56.
- [3] K.K. Lai and J.W.M. Chan, "Developing a simulated annealing algorithm for the cutting stock problem"// Computers & Industrial Engineering – 1997. – №32 –p.115-127.
- [4] R.D.Tsai, E.M. Malstrom and H.D. Meeks, "A two-dimensional palletizing procedure for warehouse loading operations"// IIE Transactions – 1988. – №20 p.418–425.
- [5] Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. – Таганрог.:ТРТУ, 1998. –239 с.
- [6] А.С. Мухачева, А.В. Чиглицев Генетический алгоритм поиска минимума в задачах двумерного гильотинного раскроя // Информационные технологии. – 2001. – №3. – С. 27–31.
- [7] Норенков И.П. Эвристики и их комбинации в генетических методах дискретной оптимизации // Информационные технологии. – 1999. – №1. – С. 2–7.
- [8] Т.Л. Вараніцький, Б.О. Пальчевський Еволюційний підхід до проектування пакувальних машин / Новітні технології пакування: матеріали доповідей VII науково-практичної конференції молодих вчених – Київ: 2011. – 50с. – с. 46-47.