

Генетичний алгоритм у синтезі структури пакувальних машин

Б.О. Пальчевський, д.т.н., Т.Л. Вараніцький, В.В. Матвійчук, М.В. Слюсарчук, Луцький національний технічний університет

На сьогодні досить актуальною проблемою є створення та розробка нових високоточних і швидких методів для синтезу структур пакувальних машин. Для багатьох завдань структурного синтезу застосування відомих математичних методів не є можливим унаслідок проблем NP-повноти та великого розміру завдань. Саме із цієї причини проектування пакувальної машини зазвичай виконується в інтерактивному режимі за визначальної ролі людини [1].



Порівняно новими виглядають методи еволюційного пошуку, що базуються на принципах генетики та природного відбору. Наявність серед параметрів таких предметних змінних, як тип механізму, форма і т. п., призводить до необхідності пошуку рішень у неметризованому просторі. Окрім цього, такі методи успішно поєднують у собі переваги евристичних методів (швидкий пошук розв'язання близького до оптимального) та передбачають способи виходу з локальних екстремумів. Найбільш перспективним з еволюційних методів можна вважати генетичний алгоритм (ГА).

Еволюційні методи дають можливість прослідкувати та спрогнозувати розвиток конструкцій пакувань, а отже, й машин для їхнього виготовлення. Кодування «хромосоми» повинно відображати не лише структуру пакувальної машини, а й відповідну їй групу виробів.

Процес генерування структури пакувальної машини фактично є процедурою створення її «хромосоми». Генотип машини в цьому випадку представлений значеннями

конкретних генів у «хромосомі», а фенотип, тобто опис функціональних модулів (ФМ), що входять до компоновки, їхніх зв'язків та характеристик, можна отримати, декодувавши кожен із «хромосом».

Кожний можливий генотип відображатиме певну пакувальну машину у вигляді фіксованого набору параметрів. Ознака, яку описує той чи інший ген, визначається його розташуванням у «хромосомі». Окрім цього, місце розташування генів та їхнє значення застосовуються під час розрахунку цільової функції. Для того, щоб більш точно описати структуру пакувальної машини слід визначити:

- функції f , реалізацію яких повинна забезпечувати машина (а отже, й відповідні до них конструктивні елементи упаковки-пакета);
- складові модулі для реалізації цих функцій, що представлені базовими механізмами (БМ), та їхні комбінації, утворені в результаті дії генетичних операторів (О);
- рухи (Р) (основні та допоміжні), які виконують робочі органи (РО), та їхні приводи (М);
- зв'язки (З) між ФМ у машині.

Тоді опис пакувальної машини можна представити як об'єднання множин її характеристик у матричному вигляді:

$$\underbrace{\begin{pmatrix} f_{11} & \dots & f_{1j} \\ \dots & \dots & \dots \\ f_{i1} & \dots & f_{ij} \end{pmatrix}}_{\text{Функції}} \cup \underbrace{\begin{pmatrix} K & O & BM \\ K & O & BM \\ K & O & BM \end{pmatrix}}_{\text{ФМ та їхня конструкція}} \cup \underbrace{\begin{pmatrix} P_{o1} & M_{o1} & P_{d1} & M_{d1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{oi} & M_{oi} & P_{di} & M_{di} \end{pmatrix}}_{\text{Рухи РО та приводи}} \cup \underbrace{\begin{pmatrix} Z & N \\ \dots & \dots \\ Z & N \end{pmatrix}}_{\text{Зв'язки між ФМ}}$$

Кожний рядок матриці описує характеристику машини та її вузлів (модулів) у наступній послідовності:

- загальна характеристика машини;
- рукавоутворювач;
- механізм поздовжнього зварювання;
- механізм протягування;
- механізм поперечного зварювання;
- механізм відрізання;
- інші допоміжні механізми.

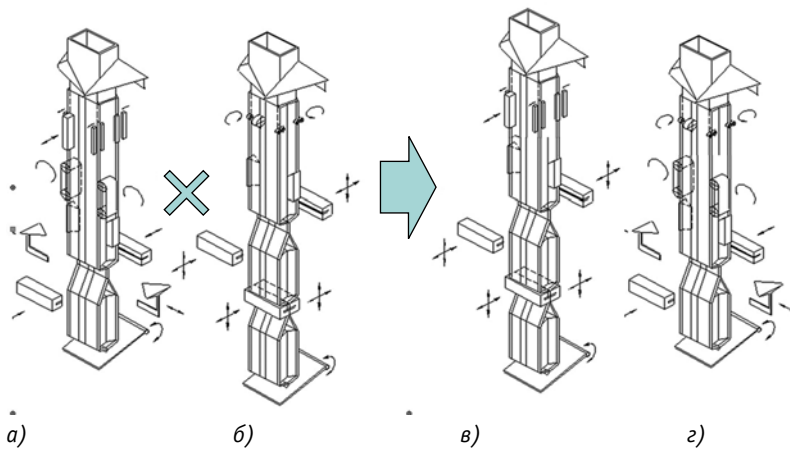


Рис. 1. Зміни фенотипу пакувальної машини в результаті дії кросингверу: батьківська особина 1 (а), батьківська особина 2 (б), нащадок 1 (в), нащадок 2 (з)

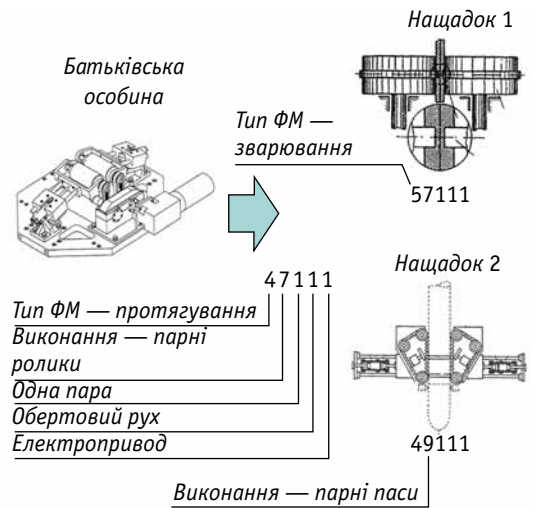


Рис. 2. Можливі результати мутації

Структура «хромосоми» пакувальної машини виключає зміни її розміру, хоча й допускає кодування відсутності певних ФМ. Це дещо збільшує витрати часу та ресурсів на пошук оптимального результату, проте охоплює весь простір варіантів конструкції машин.

Отже, генотип пакувальної машини-автомату буде представлений вектором, який кодуватиме всі її механізми. При цьому ГА, що оперує векторними генотипами, матиме певні переваги:

- використання неперервних генів дає можливість пошуку в ширшому просторі рішень (у тому числі невідомих), що складно реалізувати у випадку двійкових генів, коли розширення простору пошуку знижує точність рішень за умови незмінної довжини «хромосоми»;
- можливість локального налаштування рішення (як наслідок параметрично-модульного зображення);
- відсутність необхідності кодування-декодування, яке обов'язкове в бінарних ГА, і в результаті — підвищення швидкодії ГА.

Оскільки фенотип машини представлений ФМ, то й генотип можна поділити на відповідні складові — блоки, а отже, генетичні оператори діятимуть як на випадкові одиничні гени, так і на блоки [2].

Розглянемо характерні риси операторів кросингверу та мутації, адаптованих до синтезу структури пакувальної машини. Необхідність адаптації викликає той факт, що «хромосоми», які описують структуру пакувальної машини містять чотири типи інформації.

Оператор кросингверу діє на кожен зі складових «хромосоми» окремо. Для цього «хромосому» машини умовно поділили на чотири блоки, кожен з яких несе інформацію про механізм, його параметри або з'єднання. Під час синтезу машин модульної будови ГА замінює чи змінює порядок механізмів, а також «перекидає» їх між розв'язками. Цей підхід робить кожен механізм самодостатнім у такий спосіб, що ГА не має потреби знати детальні його характеристики, а лише спосіб з'єднання модулів між собою (рис. 1).

Процедура кросингверу проходить наступні етапи:

- відібрати дві батьківські «хромосоми» С1 та С2;
- встановити розмір кожної з батьківських «хромосом» size (C);
- згенерувати вектор точок кросингверу;
- створити копії батьківських «хромосом» С'1 та С'2;
- поміняти місцями значення генів у першому блоці «хромосоми» С1 та генів із «хромосоми» С2;

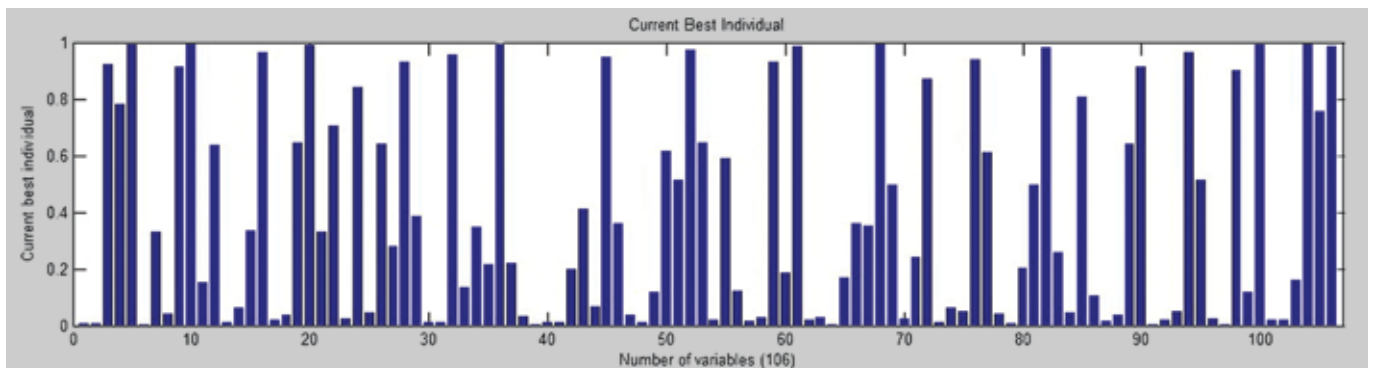


Рис. 3. Гістограма кодованих значень результату, отриманого внаслідок роботи ГА

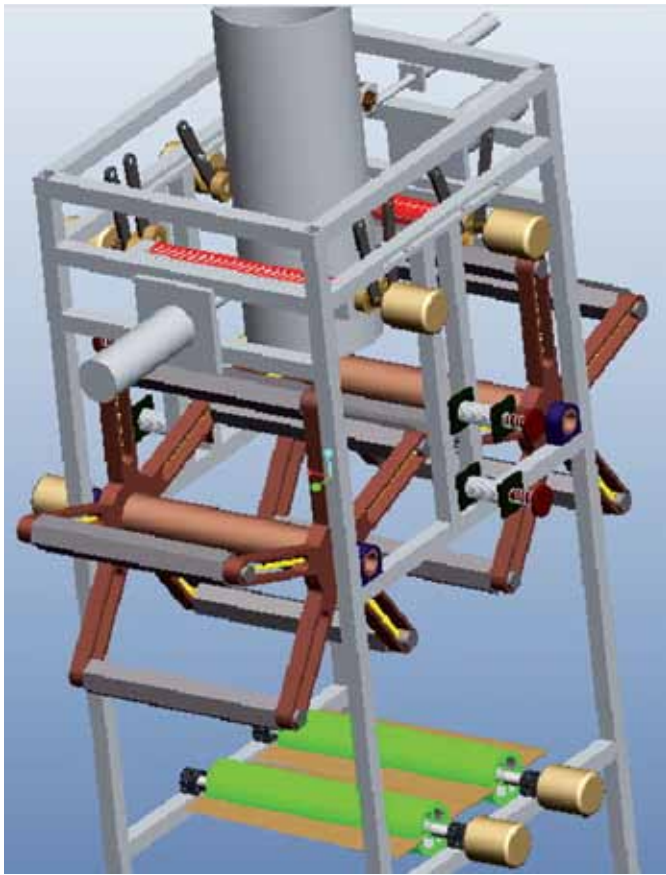


Рис. 4. Віртуальна твердотільна модель пакувальної машини, синтезованої ГА

- повторити попередній етап для кожного другого блоку генів;
- зберегти «хромосоми-нашадки» C^1 та C^2 .

Отже, отримуємо фактично багатоточковий нерівномірний кросингвер.

Оператор мутації необхідний для «вибивання» популяції з локального екстремуму і сприяє захисту від передчасної збіжності. Так само як і кросингвер, мутація проводиться не тільки по одній випадковій точці. Ймовірність мутації значно менше за ймовірність кросингверу та рідко перевищує 1 %. Серед рекомендацій із вибору ймовірності мутації нерідко можна зустріти варіанти $1/n$ або $1/N_{pop}$, де n — довжина «хромосоми», N_{pop} — розмір популяції.

Встановлено, що під час синтезу та оптимізації структури фенотип пакувальної машини є дуже чутливим до дії оператора мутації. Особливо різкі зміни відбуваються під час зміни значень генів, що відповідають за «хромосоми». Наприклад, зміна значення одного гена, що кодує механізм протягування (рис. 2), може призвести до зміни типу механізму на механізм зварювання (нашадок 1), або його конструктивного виконання — пасовий механізм протягування (нашадок 2). Результатом більшості таких змін буде утворення недопустимих структур пакувальної машини. Тому в процесі виконання ГА рекомендується залишати відповідні гени без змін.

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

- коефіцієнт варіативності;
- коефіцієнт універсальності;
- коефіцієнт складності переналадження;
- коефіцієнт складності ФМ;
- енерговтрати;
- матеріальні затрати.

Кінцева цільова функція визначатиметься як:

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

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:

$$\sum_{k=1}^{\varphi} w_k = 1. \quad (2)$$

Після запуску ГА кінцеві результати роботи виводяться у вигляді гістограми та таблиці кодованих значень генотипу. Дієвість запропонованого методу підтверджується практичними результатами. У середовищі MATLAB було виконано серію ГА із наступними параметрами:

- 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 — рівномірна, 10 %;
- кількість особин елітного відбору — 2;
- умови припинення роботи ГА — середнє відхилення між значеннями цільової функції $< 1 \cdot 10^{-6}$.

ГА завершувалися на 105–120 поколіннях. Після розшифрування кодованих значень (рис. 3) отримано фенотипи пакувальних автоматів, близьких за структурою та конструкцією до відомих нині [3, 4].

Для прикладу розшифруємо кодовані значення та отримаємо фенотип пакувальної машини-автомату, зображеного на рис. 4.

Пакувальна машина з трубою подачі продукту круглого перерізу. Згортання півки в рукав відбувається під дією сил, що виникають під час її проходження через механізми поздовжнього зварювання [5].

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 входять два вакуумні ролики, що отримують головний обертний рух від електродвигуна та допоміжний зворотно-поступальний — від пневмоциліндра. Механізм поперечного зварювання містить п'ять пар зварних губок імпульсного нагрівання, що здійснюють планетарний рух (привод —



електромеханічний). Відрізання готових пакетів здійснюється механічним способом за допомогою пари ножів з обертовим рухом.

Характеристики генетичних операторів також мають значний вплив на ефективність роботи ГА на всіх його етапах. Значення ймовірності кросинговеру та мутації зазвичай вибирають приблизно рівними природнім на початку ГА (0,8 та 0,1 відповідно). Ці значення в процесі виконання ГА можуть змінюватися з метою маніпулювання різноманітністю особин та швидкістю роботи алгоритму [1, 6].

Розвиток пакувального виробництва призводить до появи принципово нових суперечливих вимог до структур технологічних систем пакування. Розширення діапазону серійного випуску виробів в умовах збільшення їхньої номенклатури породило велике різноманіття несумісних між собою конструктивних схем спеціалізованих пакувальних машин.

Базою для вирішення цієї проблеми можуть стати ГА, що застосовуються для вирішення складних завдань параметричної оптимізації та структурного синтезу, де математичні моделі мають складну структуру і використання стандартних методів недоцільне. Зокрема, вони перспективні і для вирішення завдань синтезу компонування та розміщення обладнання.

Згідно з отриманими результатами створено тривимірну модель машини для пакування сипких речовин у пакети.

Література

1. Пальчевський Б.О. Особливості проектування універсальних пакувальних машин / Пальчевський Б.О., Вараніцький Т.Л. // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник. — № 39. — Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2012.
2. Tina Yu Genetic Programming Theory and Practice III / ed. Tina Yu et al. — Boston: Springer Science + Business Media, 2006. — 320 p.

3. Пат. 54904 Україна, МПК7 В31В1/64. Установка для формування пакетів з плівки / Пальчевський Б.О., Крестьянполь О.А., Шаповал О.М., Вараніцький Т.Л.; заявник та патентовласник Луцький НТУ — № u201007000; Заявл. 07.06.2010; Опубл. 25.11.2010. — Бюл. № 22. — 4 с.

4. Пат. 103647 Україна, В65В 1/20. Машина для автоматичного дозування і пакування сипкої речовини в упаковку з полімерної стрічки / Пальчевський Б.О., Бондарчук Д.В., Крестьянполь О.А., Вараніцький Т.Л.; заявник та патентовласник Луцький НТУ — a201109154; Заявл. 21.07.2011; Опубл. 11.11.2013. — Бюл. № 21.

5. Palchevskiy B. Analisis of Variability of the Family of Packages And The Versatile Packaging Machine Design / Bohdan Palchevskiy, Taras Varanitskiy // Applied Computer Science. — Vol. 8 No. 1, 2012. — Lublin: Lublin University of Technology, 2012.

6. Haupt Randy L. Practical genetic algorithms / Randy L. Haupt, Sue Ellen Haupt.— 2nd ed. — New Jersey: Wiley-Interscience, 2004. — 272 p. *Ж*

Генетический алгоритм в синтезе структуры упаковочных машин

Б.А. Пальчевский, д.т.н., Т.Л. Варанитский, В.В. Матвийчук, М.В. Слюсарчук
В статье предложено решение задачи автоматизированного синтеза структуры упаковочных машин путем применения генетического алгоритма. Описан способ кодирования «хромосомы», особенности и принцип действия генетических операторов. Представлено описание фенотипа упаковочной машины, полученной в результате выполнения генетического алгоритма.
Ключевые слова: генетический алгоритм; упаковки; машина; синтез; структура.

Genetic algorithm in structural synthesis of packaging machines

B.A. Palchevskiy, Dr., T.L. Varanitskiy, V.V. Matviychuk, M.V. Sliusarchuk
It is provided a solution to the problem of automated synthesis of structure packing machines by applying genetic algorithm in article. The method of a «chromosome» coding, features and functions of genetic operators are considered. The description of the packaging machine phenotype, obtained by a genetic algorithm is provided.

Key words: genetic algorithm; packaging; machine; synthesis; structure.



ЧП «ЛЕКО-ПЛЮС»
Украина, г. Киев,
ул. Чистяковская, 2-а, оф. 517
Тел./факс (044) 583-14-21
Тел. (044) 581-56-33
www.leko-plus.com.ua
E-mail: leko-plus@ukr.net

- Широкий выбор баночек, тубофлаконов и флаконов для косметики
- Разнообразные цветовые решения и формы
- Создание креатива, разработка оригинал-макета
- Нанесение любого изображения на флаконы и баночки методом тампопечати