

# ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОСЛІДОВНОСТІ СВЕРДЛІННЯ ОТВОРІВ В ДРУКОВАНІЙ ПЛАТІ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

*Розглядається задача оптимізація траєкторії свердильної головки при створенні отворів у друкованій платі. Здійснюється аналіз існуючих методів розв'язання задачі та обґрунтовується доцільність розробки гібридного алгоритму на основі алгоритму зозулі та генетичного алгоритму.*

**Ключові слова:** траєкторія свердління, метаевристика, гібридний алгоритм, алгоритм зозулі, генетичний алгоритм.

## Abstract

*The problem of the drilling head trajectory optimizing when creating holes in the circuit board is considered. The existing methods of the problem solving are analyzed and the feasibility of developing a hybrid algorithm based on the cuckoo algorithm and the genetic algorithm is substantiated*

**Keywords:** drilling trajectory, metaheuristics, hybrid algorithm, cuckoo algorithm, genetic algorithm.

## Вступ

Друковані плати застосовуються у багатьох областях приладобудування, в обчислювальній техніці, у систем автоматизації, у побутовій електронній техніці і т. ін. Свердління друкованих плат є важливим процесом в забезпеченні економічної ефективності їх серійного виробництва. Проведені дослідження затвердили, що загальний час свердління визначається двома процесами: часом безпосередньо свердління та часом переміщення свердильної головки від одного отвору до іншого. Причому час переміщення свердильної головки займає в середньому 70-75% усього часу процесу свердління [1]. Отже, оптимізація траєкторії переміщення свердильної головки може призвести до значного скорочення загального часу свердління що дозволить суттєво підвищити продуктивність виробничої системи друкованих плат.

## Постановка задачі дослідження

Програми проектування друкованих плат надають на виході списки координат необхідних для свердління отворів. Але час свердління отворів в указаному в списку порядку може в десятки разів перебільшувати час, необхідний для виконання свердління у порядку оптимальної траєкторії.

Якщо подати отвори плати вершинами графу, а маршрут головки свердильного станку його ребрами, то задача зводиться до задачі комівояжера, яка відноситься до задач складності NP і не може бути вирішена простим перебором. Наприклад, для плати лише з 10 отворами при прямому переборі прийшлося б побудувати 3628800 варіантів траєкторій і вибрати з них оптимальну, тобто найкоротшу. В середньому ж на друкованих платах знаходиться 40 – 200 отворів, отже для побудови оптимальної траєкторії переміщення свердильної головки застосовувати повний перебір неможливо. З цієї причини для вирішення задачі оптимізації траєкторії свердління отворів друкованих плат використовуються евристичні та метаевристичні алгоритми [1].

## Огляд існуючих підходів

Оптимізація послідовності в свердління отворів на друкованій платі не є новою ідеєю. Цьому були присвячені чисельні дослідження [2-4]. У [5] дана задача була сформульована у термінах задачі комівояжера. Кілька дослідників продемонстрували застосованість методів TSP до траєкторії свердління [6]. У [7] для оптимізації послідовності свердління застосовується алгоритм Хопфілда. У [8] для маршрутизації свердильного блоку станка з числовим програмним управлінням запроваджено евристичний алгоритм оптимізації. Гібридний алгоритм еволюційної колонії мурашок та алгоритм штучного імунітету були використані в [9]. Багато дослідників вирішували задачі свердління отворів у друкованій платі за допомогою генетичного алгоритму [10-13], алгоритму колонії мурашок [14], оптимізації роєм часток [15], оптимізації роєм часток глобальної збіжності

[16]. У [17] пропонується використання лінійного зменшення ваги інерції з PSO при оптимізації траєкторії свердильної головки, а в [18] застосовується бінарний PSO. В [19] представлено алгоритм паралельної оптимізації мурашкової колонії. Нещодавно було впроваджено систему колонії мурашок [20], застосовано алгоритм світлячків.

### Обґрунтування методу розв'язання задачі

Останнім часом потужну та ефективну роботу з розв'язання задач нелінійної чисельної глобальної оптимізації демонструють натхнені природою метаевристичні алгоритми, які базуються на основі популяційних алгоритмів і завжди знаходять найкращі рішення. Запропонований в [21] алгоритм пошуку зозулі привернув багато уваги завдяки простоті своєї реалізації та простоті застосування для вирішення багатьох практичних проблем оптимізації [21-23].

Значно зріс інтерес і до застосування нових підходів та подальшого підвищення ефективності оптимізаційних процесів за рахунок гібридизації двох або більше методів оптимізації. Гібридизація, насамперед, в контексті метаевристики, має на увазі процес поєднання разом найкращих ознак двох або більше алгоритмів для формування нового алгоритму, який, як очікується, перевершить своїх предків у розв'язанні як конкретних задач, так і загальних проблем. У [23] запропоновано гібридний алгоритм GASA для оптимізації інструментальних траєкторій та показано, що гібридний підхід з використанням GA та SA виробляє приблизно на 1,5% кращі рішення щодо мінімального шляху, ніж стандартні GA та на 47% кращі мінімальні рішення, ніж стандартні SA. Виберемо для нашої розробки алгоритм пошуку зозулі гібридизований з генетичним алгоритмом.

Алгоритм пошуку зозуль (CS) є різновидом ройового алгоритму, який розробили в 2009 році. Цей алгоритм заснований на природній поведінки біологічних зозуль, точніше, на їх здатності паразитувати на інших видах птахів, відкладаючи свої яйця в їх гнізда. Автори алгоритму задали три правила, які описують поведінку зозуль в ідеальному випадку. У такому вигляді її легше описати математичною моделлю для реалізації в комп'ютерному алгоритмі:

- за один раз зозуля може відкласти тільки одне яйце в випадкове гніздо;
- у наступне покоління переносяться гнізда з кращими рішеннями (яйцями);
- птах-господар з ймовірністю може виявити зозулине яйце в своєму гнізді і викинути його.

У зв'язку з вищезазначеними правилами, CS був реалізований таким чином. Кожне яйце в гнізді є варіантом вирішення. Кожна зозуля може відкласти тільки одне яйце в гніздо в первісному вигляді, хоча в кожному гнізді може бути кілька яєць, що представляють набір рішень, в цілому. Завдання алгоритму полягає в тому, щоб генерувати нові ідеї та потенційно кращі рішення, які замінять гірші рішення в поточній популяції гнізд. Якість рішень оцінюється за допомогою цільової функції розв'язуваної задачі.

### Висновки

У багатьох інженерних задачах оптимізації CS продемонстрував свою перевагу перед більш старими алгоритмами, такими як PSO та GA [21,23]. Але алгоритм пошуку зозулі не можна було легко застосувати до комбінаторних задач, таких як задача комівояжера, задача рюкзака і задачі планування. Маючи справу з дискретними значеннями, алгоритм CS був гібридизований з GA.

Створення гібридного алгоритму на основі алгоритму зозулі та генетичного алгоритму має забезпечити такі переваги:

- знаходження справжнього глобального оптимуму в кожному циклі;
- швидку збіжність;
- простоту в реалізації та простоту в експлуатації;
- мінімум параметрів керування для налаштування;
- мінімальну обчислювальну потужність для ефективного виконання.

У класичному CS одна зозуля відкладає одне яйце в одиницю часу, виконуючи польоти Леві. У гібридизованій CS кожні дві батьківські зозулі відкладають два яйця. Самка зозулі буде імітувати яйця птахів-господарів гнізда. Для врахування такої поведінки до алгоритму додамо оператор мутації. Це відобразить поведінку мутації генів яєць зозуль для підвищення їх породження. Навіть при мутації генів зозуль, все ще існує ймовірність, що чужорідне яйце буде виявлено птахом-господарем. Відкриття чужорідного яйця визначається якістю породжених яєць. Тому стратегія елітарності використовується лише для збереження якісних яєць, тоді як неякісні яйця відкидаються.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ghaiebi, H., Solimanpur, M.. An ant algorithm for optimization of hole-making operations. *Computers & Industrial Engineering*, 2007, pp.308–319.
2. Liu, J., Linn, R., Kowe, P. A study on heuristic methods for PCB drilling route optimization. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INDUSTRIAL ENGINEERING* , Vol.6, 1999, pp. 289–296.
3. Aoyama, E., Hirogaki, T., Katayama, T., Hashimoto, N. Optimizing drilling conditions in printed circuit board by considering hole quality: Optimization from viewpoint of drill-movement time. *Journal of materials processing technology*, Vol.155, 2004, pp.1544–1550.
4. Chang, P.C., Hsieh, J.C., Wang, C.Y. Adaptive multi-objective genetic algorithms for scheduling of drilling operation in printed circuit board industry. *Applied Soft Computing*, Vol.7, 2007, pp.800–806.
5. Kolahan, F., Liang, M. A tabu search approach to optimization of drilling operations. *Computers & industrial engineering* , Vol.31, 1996, pp. 371–374.
6. Kolahan, F., Liang, M. Optimization of hole-making operations: a tabu-search approach. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* Vol. 40, 2000, pp. 1735–1753.
7. Zhou, K., Shao, H. Programming of holes machining route base on hopfield algorithm. *Die and Mould Technology* Vol.21, 21, 2003, pp. 48–50.
8. Sigl, S., Mayer, H.A., 2005. Hybrid evolutionary approaches to cnc drill route optimization, in: *Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation, 2005 and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce, International Conference on, IEEE*. pp. 905–910.
9. Xiao, R., Tao, Z., 2005. Solution to holes machining path planning by evolutionary methods. *COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING SYSTEMS-BEIJING* , Vol.11, 2005, pp. 682.
10. Chang, P.C., Hsieh, J.C., Wang, C.Y. Adaptive multi-objective genetic algorithms for scheduling of drilling operation in printed circuit board industry. *Applied Soft Computing*, Vol.7, 2007, pp.800–806.
11. Oysu, C., Bingul, Z. Application of heuristic and hybrid-gasa algorithms to tool-path optimization problem for minimizing airtime during machining. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* Vol.22, 2009, pp.389–396.
12. Abu Qudeiri, J., Yamamoto, H., Ramli, R., 2007. Optimization of operation sequence in cnc machine tools using genetic algorithm. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol. 1, pp. 272–282.
13. Wei Wei, LI Jian-yong, W.H. Path optimization for pcb nc-drilling using genetic algorithm. *Computer Engineering and Applications*, Vol.44, 2008, 229.
14. Ghaiebi, H., Solimanpur, M. An ant algorithm for optimization of hole-making operations. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 52, 2007, pp.308–319.
15. Onwubolu, G., Clerc, M. Optimal path for automated drilling operations by a new heuristic approach using particle swarm optimization. *International Journal of Production Research* Vol.42, 2004, pp.473–491.
16. Zhu, G.Y., Zhang, W.B. Drilling path optimization by the particle swarm optimization algorithm with global convergence characteristics. *International Journal of Production Research* Vol. 46, 2008, pp. 2299–2311.
17. Adam, A., Abidin, A.F.Z., Ibrahim, Z., Husain, A.R., Yusof, Z.M., Ibrahim, I. Analytical Modelling and Computer Simulation (AMS), 2010 Fourth Asia International Conference on, IEEE. pp. 60–64.
18. Othman, M.H., Abidin, A.F.Z., Adam, A., Yusof, Z.M., Ibrahim, Z., Mustaza, S.M., Yang, L.Y. A binary particle swarm optimization approach for routing in PCB holes drilling process, in: *Proc. of the 1st International Conference on Robotic Automation System, 2009*, pp. 201–206.
19. Medina-Rodriguez, N., Montiel-Ross, O., Sepulveda, R., Castillo, O. Tool path optimization for computer numerical control machines based on parallel aco. *Engineering Letters* Vol.20, 2012, pp. 101–108.
20. Saealal, M., Abidin, A., Adam, A., Mukred, J., Khalil, K., Yusof, Z., Ibrahim, Z., Nordin, N,... An ant colony system for routing in pcb holes drilling process. *International Journal of Innovative Management, Information & Production* Vol.3, 2012, pp.250–256
21. Yang, X.S., Deb, S., Cuckoo search via Levy flights, in: *Nature & Biologically Inspired Computing, 2009. NaBIC 2009. World Congress on, IEEE. 2009.*, pp. 210–214.
22. Lim, W.C.E., Kanagaraj, G., Ponnambalam, S. Cuckoo search algorithm for optimization of sequence in pcb holes drilling process, in: *Emerging Trends in Science, Engineering and Technology*. Springer, 2012, pp. 207–216
23. Oysu, C., Bingul, Z, Tool path optimization using genetic algorithms, in: *Conference on Genetic and Evolutionary Methods, Las Vegas, USA, 2007* pp. 120–126.

**Месюра Володимир Іванович** – канд. техн. наук, професор кафедри комп’ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: mesyura@vntu.edu.ua.

**Donets Vitalii V.** – student of the Computer Science Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vitaliy.osvita98@gmail.com

**Mesyura Volodymyr I.** – Cand. Sc. (Eng.), Professor of Computer Science Department, Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mesyura@vntu.edu.ua.