

УДК 685.3

**ОПТИМІЗАЦІЯ МАРШРУТУ ВИРУБКИ ДЛЯ ПРЕСУ-АВТОМАТУ З
ВРАХУВАННЯМ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ**

М.М. ШКОДЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

У роботі запропоновано математичну модель задачі пошуку оптимального маршруту вирубки деталей за допомогою пресу автомату, проаналізовано її особливості та способи їх практичного використання. Розглянуто методи вирішення задачі та обґрунтовано їх практичну реалізацію. На основі математичної моделі побудовані маршрути вирубки, що демонструють вплив параметрів обладнання.

У процесі виготовлення деталей для верху взуття важливе місце займає сам розкрій, від його ефективності значною мірою залежить час використаний для виробництва. Оскільки параметри обладнання і схема розкрою є визначеними, з'являється можливість задати послідовність операцій розкрою та значення параметрів обладнання таким чином, що ефективність процесу буде максимальною. Розглянемо основні показники, які впливають на об'єм виконаної роботи на прикладі пресу автомату з револьверною голівкою і розкрійної схеми для натуральної шкіри.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктами дослідження є розкрійна схема та маршрут вирубки деталей на ній. Методами дослідження є методи емпіричного розв'язання комбінаторних задач.

Постановка завдання

Дано розкрійну схему з N деталей, призначену для розкрою на конкретному пресі-автоматі. Необхідно за практично прийнятний час знайти оптимальний маршрут вирубки деталей, який буде враховувати особливості роботи наявного обладнання.

Результати та їх обговорення

Для пресів-автоматів при визначенні положення деталі на матеріалі необхідно і достатньо мати значення чотирьох параметрів $Pr_i, Xp_i, Yp_i, \theta_i, i=1,2,..,p$, де: Pr – код даної деталі; Xp_i, Yp_i – координати полюса деталі в системі координат, пов'язаної з матеріалом; θ_i – кут повороту деталі відносно її вихідного положення [1].

Робота автомата описується наступними характеристиками:

- V_x – швидкість пересування різака по OX ;
- V_y – швидкість пересування матеріалу по OY ;
- Tr – час, який необхідний для зміни орієнтації різака;
- Tg – час, який необхідний для повороту револьверної голівки із різакми для заміни активного різака.

Розкрійну схему можна представити у вигляді графа R , вершинами якого є полюси деталей розкрійної схеми. Граф є представленням матриці T , вагою ребер T_{ij} вважатимемо час переходу від вершини до вершини. Для графу повинна існувати можливість переходу від будь-якої однієї вершини до будь-якої іншої.

У загальному випадку час переходу розраховується за допомогою відомих швидкостей V_x, V_y , та відстаней між вершинами наступним чином:

$$T_{ij} = k_1 \frac{|Xp_j - Xp_i|}{V_x} + k_2 \frac{|Yp_j - Yp_i|}{V_y} + k_3 Tr_{ij} + k_4 Tg_{ij}, \quad (1)$$

де k_1, k_2, k_3, k_4 ($k_l \in [1 .. k_l^0]$) – вагові коефіцієнти для більш гнучкого налаштування режиму роботи преса-автомата, де k_l^0 – деяке граничне значення, що розраховується для кожної розкрійної схеми окремо.

Звідси задачу оптимізації роботи пресу-автомату можна визначити як пошук мінімального маршруту, що проходить від даної вершини S через усі вершини тільки один раз.

Математичну модель такої оптимізаційної задачі можна сформулювати як задачу комівояжера наступним чином:

$$T^* = \min_{\mu} (T) = \min_{\mu} \left(\sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^q T_{ij} \cdot x_{ij} \right), \quad (2)$$

при наступних обмеженнях:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^q x_{ij} = 1 \\ \sum_{j=1}^q x_{ij} = 1 \quad i, j \in [1, q], \\ x_{ij} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \end{cases} .$$

де змінна $x_{ij} = 1$, якщо є перехід з вершини i у вершину j , та $x_{ij} = 0$ – у протилежному випадку.

Надаючи ваговим коефіцієнтам різних значень із допустимого діапазону можна визначати час переходу в залежності від особливостей роботи обладнання і властивостей розкрійної схеми. Розглянемо деякі граничні випадки:

– $k_1 = k_2 = k_3 = k_4 = 1$ – найбільш загальний випадок, перевага не надається жодному з параметрів. Мінімальний маршрут знайдений для таких переходів буде визначати найменший середній час для розкрійної схеми.

– $k_1 = 1, k_2 = k_2^0, k_3 = 1, k_4 = 1$ – пріоритет мінімізації надається переміщенням по горизонталі, у часі переходу між деталями збільшується вагова частка рухів по осі OX , таким чином маршрут буде проходити передусім по вертикальним рядам розкладки.

– $k_1 = k_1^0, k_2 = 1, k_3 = 1, k_4 = 1$ – пріоритет надається мінімізації переміщень по вертикалі. Такий режим вирубки буде доцільний для пресів, у яких голівка пересувається тільки у горизонтальному напрямку, а матеріал після неї у вертикальному.

– $k_1 = 1, k_2 = 1, k_3 = k_3^0, k_4 = 1$ – при побудові маршруту перш за все перевага надається тим парам деталей, між якими менша різниця кутів повороту від базового положення. Такий режим вирубки буде більш ефективним для розкрійних схем, що утворені рядами деталей з фіксованим кутом повороту, також бажано враховувати час повороту голівки у випадку малої її швидкості для конкретного обладнання.

– $k_1 = 1, k_2 = 1, k_3 = 1, k_4 = k_4^0$ – при побудові маршруту, перш за все перевага надається парам деталей одного типу.

Для визначення значень коефіцієнтів k_i^0 можна використати наступну методику:

спочатку визначаємо середнє значення переходу для матриці $T - T_{ij}^0$

$$T_{ij}^0 = \frac{\sum_i^n \sum_j^n T_{ij}}{n^2} \quad (3)$$

де n – кількість елементів матриці, T_{ij} – час переходу між вершинами при $k_1 = k_2 = k_3 = k_4 = 1$.

Час переходу T_{ij} для визначення k_i^0 розраховується за формулою (4):

$$T_{ij} = \frac{|Xp_j - Xp_i|}{V_x} + \frac{|Yp_j - Yp_i|}{V_y} + Tr_{ij} + Tg_{ij} \quad (4)$$

При відомому середньому значенні переходу між вершинами T_{ij}^0 , значення коефіцієнтів знаходиться за формулою(5):

$$k_i^0 = \frac{T_{ij}^0}{T_{ij}^l} \quad (5)$$

де T_{ij}^l – середнє значення відповідної компоненти:

$$\begin{aligned} - T_{ij}^1 &= \frac{\sum_i^n \sum_j^n \frac{|Xp_j - Xp_i|}{V_x}}{n^2} \text{ – середній час переміщення різака по OX;} \\ - T_{ij}^2 &= \frac{\sum_i^n \sum_j^n \frac{|Yp_j - Yp_i|}{V_y}}{n^2} \text{ – середній час пересування матеріалу по OY;} \\ - T_{ij}^3 &= \frac{\max Tr_{ij}}{2} \text{ – середній час, необхідний для зміни орієнтації різака;} \\ - T_{ij}^4 &= \frac{\max Tg_{ij}}{2} \text{ – середній час, необхідний для заміни активного різака.} \end{aligned}$$

Точний розв'язок задачі комівояжера знаходиться комбінаторно, тобто необхідно обчислити довжини всіх можливих маршрутів та обрати маршрут з найменшою довжиною. Однак, навіть для невеликої кількості вузлів в такий спосіб задача практично нерозв'язна. Для простого варіанту, симетричної задачі з N вузлами, існує $(N - 1)! / 2$ можливих маршрутів, тобто, для 15 вузлів існує 43 мільярдів маршрутів, а для 23 вузлів вже 177 більйонів.

Серед оптимальних або емпіричних методів вирішення подібних практичних задач зазвичай використовують єдиний альтернативний метод гілок і меж (МГМ). Вважається, що він забезпечує точне

рішення за допустимий час обчислення. Проте в більшості випадків МГМ не гарантує результативності за прийнятний час навіть при $N=15$.

Тому на практиці, як правило, використовують наближені методи [2] з подальшим уточненням результату. Серед найбільш вживаних можна виділити наступні методи знаходження базового маршруту:

– «жадібний» (*Greedily*). Спочатку на графі, утвореному матрицею A , відшукується і включається в маршрут вершина $R[k]$, яка ближче за усіх до початкової. Далі відшукується найближча до $R[k]$ з числа ще не включених в маршрут і т. д. В результаті виходить наближене рішення задачі – базовий маршрут.

– «дерев'яний» (*Woody*). Спочатку в маршрут включаються дві вершини початкова $R[0]$ і кінцева $R[N - 1]$. Далі відшукується вершина, яка характеризується найменшою відстанню $D(R[i] + R[k]) + D(R[k] + R[j]) - D(R[i] + R[j])$, де $i = 0$, $j = N - 1$, k - номери ще не включених в маршрут вершин. Знайдена вершина поміщається в маршрут $(0, k, N - 1)$. На наступному кроці відшукується вершина L , яка характеризується найменшою відстанню DL від ланки $(0, k)$, і вершина M , що має найменшу відстань DM від ланки $(k, N - 1)$. Серед L і M вибирається та, яка має найменше з DL і DM , і включається всередину своєї ланки $(0, k)$ або $(k, N - 1)$. Процес триває до тих пір, поки є не включені в маршрут вершини.

– простий (*Simply*). Проміжні вершини в маршрут включаються випадковим чином. Зокрема, базовим буде допустимий маршрут $R[i] = i$.

Маршрути, побудовані цими методами, обчислюються з дуже високою швидкістю. Проте їх довжина в переважній більшості випадків далека від практично прийнятної. З метою покращення результату застосовуються методи поліпшення базового маршруту:

– метод перестановок (*Permutations*). Здійснюється послідовний прохід по парах сусідніх вершин усіх ланок з перестановкою цих вершин. Якщо перестановка зменшує довжину маршруту, то цей маршрут вважається поточним. Нові спроби поліпшити його тим же методом виконуються до тих пір, поки перестановки не дадуть ефекту. Далі аналогічним чином виконуються перестановки по трьох сусідніх вершинах з числа тих, які не потрапили в число раніше проведених операцій з двома сусідніми вершинами.

– метод видалення петель (*CrossDeleting*). Часто поточний маршрут містить петлі. Існування петлі визначається наявністю пересічних відрізків маршруту. Якщо внутрішній ланцюжок петлі повернути в протилежному напрямі, а маршрут стане коротший.

Для визначення оптимального результату було реалізовано процедуру повного перебору, яка давала оптимальний маршрут за прийнятний час для кількості вершин < 23 .

Оцінка впливу вагових коефіцієнтів проводилася по розрахунку мінімального часу розкрою при різних параметрах побудови маршруту для однієї розкрійної схеми, що містить 36 деталей. Оптимізація маршруту проводилася за допомогою комбінованого методу. В якості відстані між вузлами маршруту брався час необхідний для переміщення між деталями. Для кожного експерименту наведено значення вагових коефіцієнтів k_i , час розкрою T , та параметри обладнання: V_x – горизонтальна швидкість переміщення головки пресу, V_y – вертикальна швидкість переміщення головки пресу, Tr – швидкість повороту головки на 1° , Tg – швидкість вибору типу деталі.

$$k_1=10, k_2=k_3=k_4=1$$

Пріоритет надається переміщенням по горизонталі, маршрут буде проходити передусім по вертикальним рядам розкладки (рис. 1).

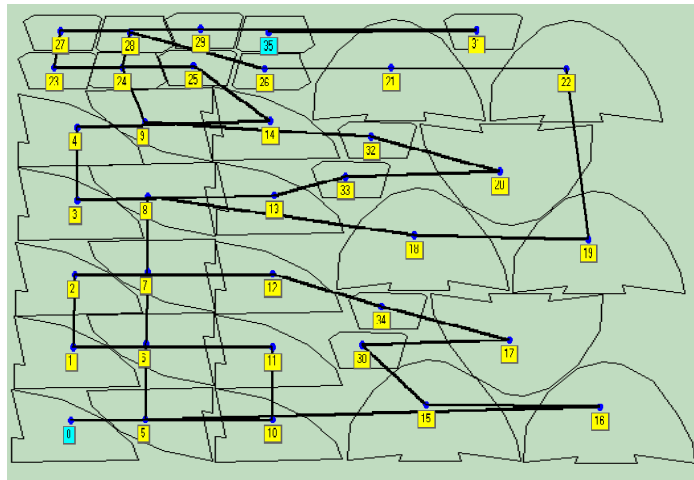


Рис. 1. Маршрут вирубки при $k_1=10, k_2=k_3=k_4=1$

$M=\{0-10-11-1-2-12-34-17-30-15-16-5-6-7-8-18-19-22-21-26-28-24-9-32-20-33-13-3-4-14-25-23-27-29-31-35\}$

$T = 16540, V_x=960, V_y=60, Tr=0.05, Tg=0.2.$

$k_1=1, k_2=10, k_3=k_4=1$

Пріоритет надається мінімізації переміщень по вертикалі (рис.2).

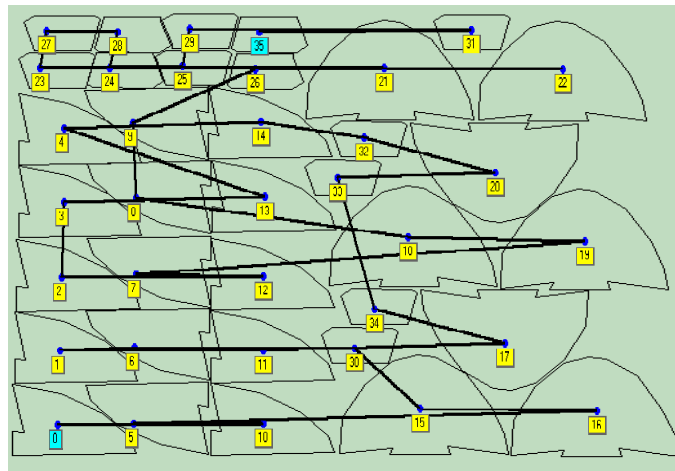


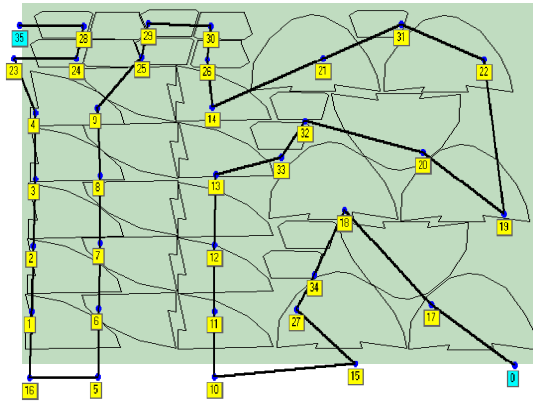
Рис. 2. Маршрут вирубки при $k_1=1, k_2=10, k_3=k_4=1$

$M=\{0-10-5-16-15-30-6-1-11-17-34-33-20-32-14-4-13-3-2-12-7-19-18-8-9-26-22-21-24-28-27-23-25-29-31-35\}$

$T = 16550, V_x=960, V_y=60, Tr=0.05, Tg=0.2$

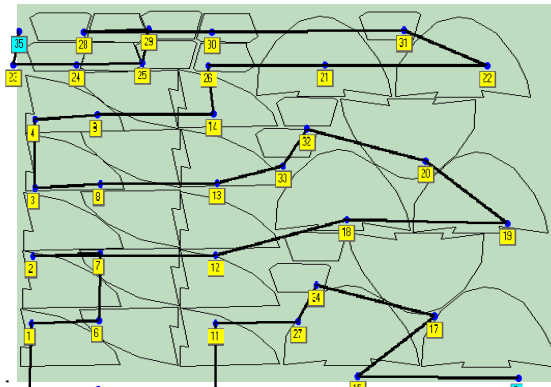
$k_1=k_2=1, k_3=10, k_4=1$

При побудові маршруту перш за все перевага надається тим парам деталей між якими менша різниця кутів повороту від базового положення (рис.3).

Рис. 3. Маршрут вирубки при $k_1=k_2=1, k_3=10, k_4=1$

$$T=14170, V_x=20, V_y=10, Tr=0.5, Tg=0.2 \quad k_1=k_2=k_3=1, k_4=10$$

При побудові маршруту, перш за все перевага надається парам деталей одного типу (рис. 4)

Рис. 4. Маршрут вирубки при $k_1=k_2=k_3=1, k_4=10$

$$T=13450, V_x=20, V_y=10, Tr=0.05, Tg=0.2$$

Висновки

Результати оптимізації дослідних маршрутів показують, що комбінування базових методів з різними способами поліпшення результату при певній кількості повторів досягнутого мінімуму довжини маршруту, дає результат дуже близький до оптимального і за практично прийнятний час. Наведені результати оптимізації маршруту вирубки деталей, що мінімізує час вирубки для різних значень параметрів, які задають характеристики обладнання. Наведено аналіз результатів оптимізації маршруту вирубки з точки зору доцільності використання даного маршруту для наявного обладнання. Можна зробити висновок, що при гнучкому використанні вагових коефіцієнтів оператор у разі необхідності може формувати маршрут розкрою з мінімальним навантаженням на обладнання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чупринка В.І. Розвиток наукових основ автоматизованого проектування схем розкрою матеріалів на деталі взуття та виробів шкіргалантереї: автореф. Дис. На здобуття наук. Степеня док. Техн. Наук : спец. 05.18.18. «Технологія взуття, шкіряних виробів і хутра»/ В.І. Чупринка.– Київ, 2009.– 44 с.
2. А.Ахо, Дж. Хопкрофт, Дж. Ульман Построение и анализ вычислительных алгоритмов.– М.:«Мир», 1979.– 536 с.

Надійшла 17.07.2010