

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ РОЗКРОЮ-ПАКУВАННЯ ПРИ ВИРОБНИЦТІ ВІТРИЛ

Фаріонов Микола Володимирович

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Україна, Миколаїв

kolia.farionov@gmail.com

Анотація. Досліджено процес виробництва вітрил та існуючі алгоритми вирішення задачі розкрою-пакування. Виявлено перспективність впровадження метавеврестичних методів на виробництві.

Ключові слова: CAD система; розкрій деталей довільної форми; метавеврестичні методи; фігурний розкрій.

Вступна частина. Сьогодні в світі дуже популярний вітрильний спорт, проводиться багато змагань, чемпіонати різних країн, Європи, Світу, також він входить в програму Олімпійських ігор. Вітрильний спорт має велику кількість шанувальників не тільки професіоналів, але й любителів активного відпочинку, яким просто подобається кататися на вихідних або ходити в походи.

Проблема економії ресурсів є актуальною та сучасною для всіх сфер людської діяльності як у минулому, так і в найближчому майбутньому. Для кожної яхти потрібні вітрила і їх виготовлення займає значну частину часу та ресурсів. Під час виробничого процесу вітрил, через напівручне розташування деталей, нераціонально використовується тканина.

Метою роботи є дослідження існуючих методів розкрою-пакування та можливості використання їх для автоматизації та зменшення відходів при виробництві вітрил.

Основна частина. Яхти поділяються на багато категорій, мають різне призначення, але є одне те, що об'єднує всіх – це вітрила. Зараз у світі поширені 3 типи розкроїв, вони залишились як найефективніші зі сторони повторення ідеальної форми змодельованого вітрила.

Моделювання вітрила починається з замірів необхідних величин. Вітрило - це об'ємна фігура і для того щоб із плоскої тканини отримати об'ємне вітрило треба використовувати спеціальний набір плоских елементів. За допомогою спеціальної CAD системи та необхідних розмірів розробляється шаблон-розкладка. Шаблон – це набір геометричних планіметричних фігур, за допомогою яких можна представити об'ємне вітрило розкладене на площині. Набір фігур складається з різноманітних трапецій та трикутників, сторони яких можуть бути як увігнуті так і опуклі. Основні типи розкроїв:

1. Радіальний – панелі мають вид трикутників та трапецій;
2. Паралельний – панелі тільки трапецієвидної форми паралельні одна одній і перпендикулярні до задньої шкаторини;
3. Комбінований – окремі частини вітрила виконують по різним технологіям.

Існує багато виробників тканини для вітрильного спорту, так само існує багато типів тканин. Важкі та жорсткі дакронові тканини для лавірувальних вітрил, легкі та міцні нейлонові та поліестрові тканини для спінакерів та генакерів, легкі тканини з плівки. Більшість сучасних тканин мають однаковий натяг по утіку та по основі волокон, тому можливо робити різні в будь-яких напрямках і відповідно розташовувати панелі на рулоні у

хаотичному порядку. Так само існують тканини, по більшій мірі плівчасті, для яких розташування панелей має бути строго вздовж полотна, тому що натяг волокон відрізняється і розріз під кутом знищить переваги різного натягу та у найгіршому випадку зруйнує структуру тканини, що призведе до втрати промислових характеристик і швидкому руйнуванню вітрила.

Розкладка деталей вітрила відбувається на рулонах тканини стандартної ширини 150 см, 140 см або 90 см. Довжина рулону тканини може варіюватися тому що, виробник тканини відбраковує деякі частини виробленого матеріалу і таким чином рулон тканини ділиться на декілька не рівномірних частин. Так як рулон тканини це прямокутник для розрахунків введемо позначення w – довжина та h – ширина рулону. Система різання матеріалу дозволяє робити розрізи у будь яких напрямках. Використовуючи лазерний плотер відстань між деталями краще обирати щонайменше 5 мм, а відстань від країв рулона тканини – 10 мм.

Маємо рулон тканини довжини w та ширини h . Повинні розмістити панелі з набору для вітрила на ньому так, щоб максимально ефективно використати його площину, тобто мінімізувати втрати тканини. Набір для вітрила складається з n панелей трикутної та, або тільки трапецевидної форми. В залежності від типу тканини маємо або не маємо можливість повертати панелі на кут α . Розміщення деталей проводиться на прямокутних листах довжиною не більше 12 м та висотою не більше 150 см, це обумовлено граничними характеристиками використовуваного на виробництві плотеру ФК-20. Для збільшення використання ефективної площини, для розміщення панелей можна використовувати одразу увесь рулон тканини (напівнескінчену поверхню), а вже потім розділяти його на під частини довжина яких, не може перевищувати максимальну довжину поля плотеру.

Відсоток ефективного використання площі рулону тканини можна вирахувати за формулою $\eta = \frac{S_{\text{вітрила}}}{w * h} * 100\%$;

Стандартне формулювання завдання розкрою (але не єдине) передбачає список з m замовлень (у нашому випадку полотен не більших 12 метрів), у кожному замовленні потрібно розташувати $q_j, j = 1, 2, \dots, m$ деталей. Утворимо всі можливі комбінації розкрою (“карти розкрою”) і пов’яжемо з кожною картою позитивну цілу змінну x_i , що показує, скільки разів карта використовувалася. Випишемо завдання лінійного програмування:

$$\sum_{i=1}^n c_i x_i ; \sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \geq q_j, \forall j = 1, \dots, m; x_i \geq 0,$$

де a_{ij} – скільки разів замовлення j з’являється в карті i та c_i – ціна (часто втрати) карти i .

Точна природа обмежень може призвести до трохи різних математичних характеристик. Наведені обмеження є обмеженнями на мінімум (щонайменше задана кількість має бути зроблено, але не виключається, що буде зроблено і більше, тобто залишиться місце під деталі іншого вітрила). Якщо $c_i=1$, потрібно мінімізувати кількість шматків вихідного матеріалу, що розрізаються. Якщо обмеження з нерівностей замінити на рівність, завдання називається упаковкою в контейнери.

Таке формулювання завдання можна застосувати не тільки для одновимірного випадку. Можливо багато варіацій, наприклад, мета – не мінімізація втрат, а максимізація загальної кількості виробленого товару, тобто розташувати якомога більшу кількість панелей. У цілому, кількість можливих карт розкрою зростає експоненційно від m , числа замовлень. При зростанні числа замовлень може виявитися непрактичним перераховувати можливі карти розкрою.

Як альтернативу можна використовувати генерацію стовпів. Цей метод вирішує завдання розкрою, починаючи з кількох карт. Метод утворює нові карти, якщо вони будуть

потрібні, у процесі рішення. Метод відкладеної генерації стовпів може виявитися набагато ефективнішим за вихідний підхід, особливо при зростанні розміру завдання. Відкладена генерація стовпів щодо застосування розкрою вперше використана Гілмором і Гоморі в серії статей, опублікованих у 1960-х роках[1][2]. Вони показали, що цей підхід наводить гарантовано до (дрібного) оптимального рішення без необхідності перераховувати всі можливі карти заздалегідь.

Вихідний метод Гілмору і Гоморі не був цілочисленним, так що рішення могло містити дробові складові, наприклад, деяка карта мала використовуватися 3,67 разів. Округлення до найближчого цілого часто не працює, в тому сенсі, що це призводить до не повістю оптимального рішення та недовиробництва (яке нам не підходить, бо не зможемо скласти вітрило) або надвиробництва для деяких замовлень (це не зовсім недолік для стандартизованих моно класів яхт, які використовують ідентичні вітрила, але треба вести десь підрахунок зайвих панелей, щоб не виробляти їх наступного разу). Ці недоліки подолані у нових алгоритмах, які дозволяють знаходити оптимальні рішення (у сенсі знаходження рішення з мінімальними відходами) дуже великих завдань (загалом великих, ніж потрібно на практиці [3] [4]).

У загальному випадку виділяють одновимірні, двовимірні та тривимірні завдання розкрою пакування. Задача розміщення панелей вітрил відноситься до двовимірних-фігурних задач розкрою, так як саме для цього підвиду характерні геометричні об'єкти складної опуклої, увігнутої та опукло-увігнутої форми, які не дуже відрізняються.

Вирішення завдання фігурного нерегулярного розкрою точними методами практично неможливе, як через складність самих об'єктів, так і в складності досягнення точного результату. При спробі отримання точного розв'язання таких завдань доводиться використовувати складний математичний апарат, проте, необхідна точність рішення може бути не досягнуто.

Для вирішення проблеми нерегулярного фігурного розкрою досить часто використовують евристичні методи. В разі застосування евристичного методу на одиниці операції рішення оперують геометричними перетвореннями кожного окремого геометричного об'єкту. Серед таких методів найбільшою популярністю користуються імітація відпалу, генетичний алгоритм, пошук із заборонами. Імітація відпалу та пошук із заборонами характеризуються «прокладанням» маршруту у просторі пошуку, який є послідовністю рішень, де кожне рішення є сусіднім для попереднього щодо деякої околиці. У генетичному алгоритмі перебування чергового нового рішення використовуються процедури схрещування і цілеспрямованих мутацій (змін, що відбуваються випадковим чином).

У роботі [5] – запропоновано до вирішення задачі нерегулярного розкрою плоских геометричних об'єктів використовувати метод послідовного уточнення оцінок. Застосування задачі нерегулярної упаковки передбачає використання процедури формування пріоритетного списку геометричних об'єктів за «жадібним» принципом замість жорстко зафіксованого списку.

Для вирішення задач нерегулярного розміщення також запропоновано алгоритм методу комбінаторної оптимізації. Він є ітераційним процесом, в якому кожна ітерація складається із стадії конструювання можливого рішення та стадії локального пошуку на околицях побудованого рішення. Ідея алгоритму локального пошуку полягає в наступному: подібні рішення часто поводяться подібним чином, тому навіть незначні модифікації рішень зазвичай тягнуть невеликі і зрозумілі зміни в їх якості, що дозволяє отримати кращі рішення.

Існує гібридний алгоритм оптимального розміщення панелей, що поєднує в собі ідеї мурашиних колоній та «жадібною» стратегією. Основною ідеєю алгоритму є поєднання фігур за прямими лініями. Ідеї методу мурашиної колонії засновані на зборі статичної інформації про найвдаліші знайдені рішення. При вирішенні задач нерегулярного фігурного розкрою поряд із загальновідомою апроксимацією прямокутниками пропонується об'єднання фігурних об'єктів у блоки або шматки, де під блоком розуміється набір деталей, положення яких зафіксовані щодо один одного. Даний метод відноситься до складних багатопрхідних евристик. Ідея даного алгоритму полягає в стикуванні двох деталей (опуклої і увігнутої) лише по трьом послідовним ребрах, при цьому деталь апроксимується багатокутником. Далі методом перебору вибираються три «кращі» ребра, якщо відбувся перетин деталей, то виконується процедура зсуву у напрямку бісектриси одного з кутів. Алгоритм вирішує проблему фіксованої кількості положень та орієнтацій панелей на заданій площині.

Найбільш перспективним для вирішення задачі нерегулярного розміщення геометричних об'єктів є адаптація метаевристичних методів локального пошуку в комбінації з методами моделювання геометричних перетворень, що ґрунтуються на виконанні умов взаємного неперетину. Маловивченим метаевристичним методом щільного розміщення геометричних об'єктів в однозв'язній та багатозв'язній областях є використання сплайнів та примітивів для аналізу локальних характеристик форми.

Висновки. У сучасних умовах, коли все більш актуальною стає проблема економії ресурсів на виробництві, її вирішення відбувається за всіма можливими напрямками науки, техніки та виробництва. До одного із них належить завдання нерегулярного розкрою заготовок. Вона поєднує в собі як можливість економії матеріалу, що розкроюється, так і економію енергії і часу, що витрачаються на процесі різки. Оскільки дані завдання відносяться до класу NP - важких, ускладнених геометричними особливостями об'єктів, що розкриваються, то застосування сучасних метаевристичних методів пошуку для їх вирішення є кращим рішенням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Gilmore, P.C., & Gomory, R.E. (1961). A linear programming approach to the cutting-stock problem. *Operations Research*, issue 9 (pp. 154-162).
- [2] Gilmore, P.C., & Gomory, R.E. (1961). A linear programming approach to the cutting-stock problem, Part II. *Operations Research*, issue 11 (pp. 863-888).
- [3] Goulimis, C. (1990). Optimal solutions for the cutting stock problem. *European Journal of Operational Research*, issue 44 (pp. 197-208).
- [4] de Carvalho, V. (1998). Exact solution of cutting stock problems using column generation and branch-and-bound. *International Transactions in Operational Research*, issue 5 (pp. 35-44).
- [5] Петренко, А.В. (2005). Оптимізація розміщення двовимірних геометричних об'єктів на анізотропному матеріалі з використанням методів математичного програмування. *Міжнародна конференція ICT*.

Farionov Mykola Volodimirovich

The use of cutting-packing methods in the production of sails

Abstract. The sail production process and existing algorithms for solving the cutting-packing problem were investigated. The perspective of the implementation of metaheuristic methods in production has been revealed..

Keywords: CAD system; true type shape nesting; metaheuristic methods; figure cut.