

Національний університет "Львівська політехніка"

УДК 004.415.2:621.382

ЩЕРБ'ЮК ІГОР ФЕДОРОВИЧ

**АЛГОРИТМІЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ДЛЯ РОЗМІЩЕННЯ РІЗНОГАБАРИТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ
ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ КОМБІНОВАНИМИ
МЕТОДАМИ ІЄРАРХІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ**

Спеціальність 05.13.12 – системи автоматизації
проектувальних робіт

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів - 2008

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Національному університеті "Львівська політехніка"
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Базилевич Роман Петрович,
Національний університет "Львівська політехніка",
професор кафедри програмного забезпечення

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Івахів Орест Васильович,
Національний університет "Львівська політехніка",
завідувач кафедри приладів точної механіки

доцент
Ладогубець Володимир Васильович,
Національний технічний університет України "КПІ",
доцент кафедри системного проектування

Захист відбудеться "___" _____ 2008 р. о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.01 у Національному університеті "Львівська політехніка" (79013, Львів, вул. С.Бандери, 12).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету "Львівська політехніка" (79013, Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий "___" _____ 2008 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 35.052.05,
доктор технічних наук, професор

Р.А. Бунь

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Проектування сучасних засобів електронної техніки немислимо без систем автоматизованого проектування (САПР). На даному етапі розвитку електроніки в Україні особливо важливим є якісне проектування пристроїв, що користуються широким попитом у населення (радіоприймачі, телевізори, різноманітні цифрові пристрої і т.п.). Конструкції таких пристроїв у більшості випадків реалізуються на базі друкованих плат та окремих дискретних елементів. Для їх проектування широкою популярністю в Україні користуються системи P-CAD та ACCEL, які реалізовані на базі ПК. Досвід експлуатації таких систем в ряді організацій підтвердив як їх ефективність для розв'язування даного класу задач, так і виявив вагомі недоліки.

Одним із найбільш серйозних недоліків, зокрема системи P-CAD, є недостатньо якісне розв'язування задачі розміщення різногабаритних елементів, якими можуть бути: інтегровані схеми, окремі дискретні елементи, трансформатори та інші. Результати, отримані такими системами, є недосконалі та вимагають значних ручних доробок, що суттєво знижує їх ефективність. З математичної точки зору задача розміщення елементів відноситься до важковирішуваних комбінаторного типу – класу NP. Суттєвий внесок в розвиток методів розв'язання цього класу задач в Україні зробили вчені Сергієнко І.В., Стоян Ю.Г., Павлов О.А., та з врахуванням особливостей задач проектування Базилевич Р.П., Петренко А.І., Путятин В.П., Каспшицька М.Ф., Тетельбаум О.Я. та інші.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась у руслі наукових досліджень кафедри "Програмне забезпечення" Національного університету "Львівська політехніка", які проводилися дисертантом в період з 1998 по 2002 рр. в ході його навчання в аспірантурі, зокрема за НДР "Ієрархічні кластеризація та макромодельовання як ефективні засоби розв'язування важковирішуваних комбінаторних задач" (2002-2003 рр. №0102U001186). Особистий внесок дисертанта у цій НДР полягає в розробці алгоритмів низхідного початкового розміщення, висхідного розміщення шляхом нарощування одиночних елементів та макроелементів, оптимізації розміщення методом сканувальної області та оптимізації розміщення елементів точковим скануванням.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка нових та розвиток існуючих алгоритмів для розміщення різногабаритних елементів на конструктиві та їх реалізація у вигляді комп'ютерної системи для застосування в типових САПР (зокрема P-CAD та ACCEL) складних конструктивних вузлів електронної апаратури.

Для досягнення поставленої мети у роботі розв'язано такі завдання:

- аналіз відомих методів, алгоритмів і автоматизованих систем розміщення різногабаритних елементів електронних пристроїв з метою оцінки їх ефективності;
- розробка нових та розвиток відомих алгоритмів початкового розміщення з врахуванням особливостей реалізації для задач з різногабаритними елементами;
- розробка нових та розвиток відомих алгоритмів оптимізації розміщення з врахуванням особливостей реалізації для задач з різногабаритними елементами;

– розробка базових процедур для алгоритмів початкового розміщення та його оптимізації з обґрунтуванням вибору структур даних, які забезпечують їх високу ефективність;

– комплексне поєднання розроблених алгоритмів початкового розміщення з алгоритмами його оптимізації, яке забезпечує вибір ефективних маршрутів проектування, окремих його стратегій з поєднанням автоматичних та інтерактивних процедур;

– розробка комп'ютерної системи з орієнтацією на її подальше використання як автоматизоване робоче місце проєктанта та підсистем взаємодії з системою P-CAD, яка користується широкою популярністю при проектуванні друкованих плат;

– дослідження ефективності розроблених стратегій, окремих алгоритмів і сумісної їх взаємодії, а також комп'ютерних систем в цілому при проектуванні електронних вузлів апаратури різноманітного призначення.

Об'єкт дослідження – топологія різногабаритних елементів електронних пристроїв.

Предмет дослідження – математичні моделі, методи та алгоритми для розміщення різногабаритних елементів електронних пристроїв.

Методи дослідження – теорія множин, теорія графів, методи дискретної оптимізації, евристичні методи для складних комбінаторних задач, статистичні методи оцінки якості результатів.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше розроблено комбіноване поєднання низхідних і висхідних стратегій розміщення різногабаритних елементів з алгоритмами глобальної та локальної багаторівневої оптимізації в єдиний процес, що для досліджених задач реального проектування забезпечило покращення значення критерію сумарної довжини мінімальних зв'язних дерев в порівнянні з розміщенням, сформованим системою P-CAD.

2. Вперше розроблено алгоритм початкового розміщення різногабаритних елементів на основі їх дворівневого висхідного групування, який використовує висхідну стратегію нарощування при об'єднанні елементів у групи на одному рівні і який для тестових задач забезпечив покращення значення критерію сумарної довжини мінімальних зв'язних дерев у порівнянні з алгоритмом послідовного нарощування.

3. Розвинуто алгоритм низхідного початкового багаторівневого розміщення з використанням макромоделей на всіх рівнях декомпозиції, який для тестових задач забезпечив покращення значення критерію сумарної довжини мінімальних зв'язних дерев у порівнянні з алгоритмом послідовного нарощування.

4. Вперше розроблено алгоритм оптимізації розміщення різногабаритних елементів на основі точкового сканування базовими та макроелементами, який для тестових задач забезпечив покращення критерію сумарної довжини мінімальних зв'язних дерев у порівнянні з розміщенням, сформованим системою P-CAD.

5. Вперше розроблено та обґрунтовано алгоритм сканувальної області для макроелементів, що враховує особливості розміщення різногабаритних елементів та їх орієнтацію, який використовується на кожному рівні ієрархічної декомпозиції як засіб оптимізації положення макроелементів, що для базових та макроелементів в

тестових задачах забезпечило покращення значення критерію сумарної довжини мінімальних зв'язних дерев в порівнянні з розміщенням, сформованим системою P-CAD.

Практичне значення одержаних результатів. Застосування розроблених стратегій та алгоритмів дало наступні практичні результати:

1. Поєднання низхідних і висхідних стратегій з алгоритмами глобальної та локальної багаторівневої оптимізації в єдиний процес забезпечило для тестових задач покращення значення критерію сумарної довжини мінімальних зв'язних дерев до 26,6% в порівнянні з розміщенням, сформованим системою P-CAD.

2. Застосування алгоритму початкового розміщення елементів на основі їх дворівневого висхідного групування для тестових задач забезпечило покращення значення критерію сумарної довжини мінімальних зв'язних дерев до 23,6% в порівнянні з алгоритмом послідовного нарощування.

3. Удосконалений алгоритм низхідного початкового багаторівневого розміщення з використанням макромоделей на всіх рівнях декомпозиції для тестових задач забезпечив покращення значення критерію сумарної довжини мінімальних зв'язних дерев до 29,4% в порівнянні з алгоритмом послідовного нарощування.

4. Застосування алгоритму оптимізації розміщення на основі точкового сканування базовими та макроелементами для тестових задач забезпечило покращення значення критерію сумарної довжини мінімальних зв'язних дерев до 6,6% в порівнянні з розміщенням, сформованим системою P-CAD.

5. Застосування алгоритму сканувальної області для макроелементів для тестових задач забезпечило покращення значення критерію сумарної довжини мінімальних зв'язних дерев до 17,5% в порівнянні з розміщенням, сформованим системою P-CAD.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

– розроблено комп'ютерну систему "Розмел", яка може бути використана в проектних організаціях та науково-дослідних інститутах як автоматизоване робоче місце проєктанта для підвищення якості проєктування вузлів електронної апаратури;

– розроблену комп'ютерну систему "Розмел" інтегровано в систему P-CAD, вона може бути застосована як підсистема в інших системах автоматизованого проєктування (зокрема ACCEL), що використовуються для проєктування засобів побутової та приладобудівної техніки.

Розроблена комп'ютерна система впроваджена в Науково-дослідному і конструкторському інституті електронної вимірювальної та обчислювальної техніки (НДКІ ЕЛВІТ), м. Львів та забезпечила покращення результатів розміщення в задачах реального проєктування до 5%.

Наукові та практичні результати роботи впроваджені також в навчальний процес кафедри "Програмне забезпечення" Національного університету "Львівська політехніка" і використовуються у лабораторних роботах з дисциплін "Основи автоматизованого проєктування складних об'єктів і систем", "Комбінаторні моделі в автоматизованих системах", "Засоби інженерії програмних систем" для студентів базового напрямку 6.0804 "Комп'ютерні науки".

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати, що складають зміст дисертаційної роботи, отримані автором самостійно. В друкованих працях, опублікованих у співавторстві, автору дисертації належать: [1] – програмна реалізація, опис та результати досліджень розроблених алгоритмів; [2] – опис розробленої комп'ютерної системи, її архітектура та особливості реалізації; [3] – реалізація алгоритму низхідного ієрархічного розміщення та реалізація алгоритму оптимізації розміщення методом сканувальної області для макромоделей, результати досліджень комбінованого поєднання алгоритмів; [4] – алгоритм низхідного ієрархічного розміщення для різногабаритних елементів, результати досліджень отриманих цим алгоритмом; [5] – програмна реалізація алгоритму низхідного ієрархічного розміщення, комбіноване поєднання алгоритму низхідного розміщення з алгоритмами оптимізації розміщення, результати досліджень розробленої стратегії; [6] – програмна реалізація алгоритму низхідного ієрархічного розміщення в поєднанні з алгоритмами оптимізації розміщення на всіх рівнях декомпозиції, результати досліджень розробленої стратегії; [7] – алгоритм розміщення на основі дворівневого групування, проведення експериментальних досліджень для даного алгоритму; [8] – реалізація алгоритму точкового сканування, результати досліджень алгоритму; [9] – реалізація алгоритму послідовного нарощування, види стратегій нарощування та їх реалізація; [10] – алгоритм оптимізації орієнтації елементів, результати досліджень алгоритму; [11] – реалізація алгоритмів комп'ютерної системи, результати досліджень алгоритмів; [12] – застосування реалізованих в комп'ютерній системі засобів формування та оптимізації розміщення на основі дерева оптимального згортання, результати досліджень цього підходу.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень та основні положення роботи доповідалися та обговорювалися на:

- Третій міжнародній конференції "Комп'ютерні технології друкарства: алгоритми, сигнали, системи", Друкотехн-2000, м. Львів, 2000 р.;
- Третій міжнародній науково-практичній конференції "Штучний інтелект 2002", с. Кацівелі, Кримська обл., 2002 р.;
- Четвертій міжнародній конференції "Комп'ютерні технології друкарства", Друкотехн-2002, м. Львів, 2002 р.;
- Другій міжнародній конференції "Computer Science & Information Technologies", CSIT'2007, м. Львів, 2007 р.;
- Шостій міжнародній конференції "Автоматизация проектирования дискретных систем", CAD DD'07, м. Мінськ, Білорусь, 2007 р.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 12 наукових праць (10 у фахових наукових виданнях України, 1 стаття у виданні НАН Республіки Білорусь, 1 теза в працях конференції).

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи – 148 сторінок основного тексту, в тому числі 49 рисунків, 19 таблиць та 124 найменування використаних літературних джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі проаналізовано сучасний стан проблеми, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та завдання досліджень, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, стисло викладено зміст дисертації.

В першому розділі дано критичний аналіз існуючих алгоритмів розміщення різногабаритних елементів електронних пристроїв. Проведено порівняльний огляд відомих систем проектування, таких як P-CAD та ACCEL. Детально розглянуто особливості системи проектування друкованих плат P-CAD, як системи, яка користується широкою популярністю в Україні. Вказано на можливість обміну інформацією між системою P-CAD та розробленою комп'ютерною системою з допомогою підсистеми обміну даними PDIF. Виділено модуль розміщення системи P-CAD, з яким здійснюється порівняння отриманих результатів. Вказано на недостатньо якісні результати роботи модуля розміщення системи P-CAD, який потребує вдосконалення.

Для задачі розміщення задається наступна вхідна інформація:

1. Множина елементів схеми $P = \{p_1, \dots, p_n\}$, де n – кількість елементів.
2. Множина зв'язків схеми $E = \{e_1, \dots, e_m\}$, де m – кількість зв'язків схеми.

Між елементами множин P та E існують бінарні відношення A , що утворюють підмножину декартового добутку $A \subseteq P \times E$:

$$A = \{pae \mid e \in E, p \in P, e \text{ та } p \text{ є інцидентними}\}.$$

Множина зв'язків, інцидентних до елементу p_i визначається як $E(p_i) = \{e \in E \mid eap_i\}$. Аналогічно множина елементів, інцидентних до зв'язку e_j визначається як $P(e_j) = \{p \in P \mid pae_j\}$.

В більшості випадків при проектуванні схема задається списком зв'язків.

Множина елементів P ділиться на дві підмножини: $P = P_e \cup P_\phi$, $P_e \cap P_\phi = \emptyset$, де P_e – множина вільних елементів, що мають нефіксовані позиції; P_ϕ – множина фіксованих елементів, що мають задані позиції.

Задача розміщення розв'язується для множини P_e . До множини фіксованих відносяться елементи, які в силу заданих вимог мають визначені положення. Це можуть бути, наприклад, роз'єми елементів, закріплених конструктором, зовнішні контактні площадки та інше. Допускається, що $P_\phi = \emptyset$.

3. Простір Z для розміщення елементів, який є моделлю поверхні конструктива. У випадку розміщення різногабаритних елементів такий простір в загальному є неперервний і обмежений. Частина простору Z може бути зайнятою для розміщення фіксованих елементів. В такому випадку простір Z розпадається на два підпростори: $Z = Z_e \cup Z_\phi$, де Z_e – простір, призначений для розміщення елементів з множини P_e ; Z_ϕ – простір, зайнятий елементами з множини P_ϕ і заборонений для розміщення елементів з P_e .

Додатково задається також інформація про габарити елементів, розміщення контактних виводів елементів та інформація, що описує конструктив та межі заборони для трасування. Необхідно також врахувати координати виводів елементів та їх орієнтацію з метою отримання якісного розв'язку.

Задачі розміщення та трасування в системах автоматизованого проектування розв'язуються окремо в зв'язку з неможливістю їх поєднати в один оптимізаційний процес через надзвичайно велику обчислювальну складність. Кожна з них, зокрема, має факторіальну обчислювальну складність, тобто відноситься до класу NP. Для кожної з цих задач формуються окремі критерії оптимальності. В задачах розміщення прийнято здійснювати його оцінку за допомогою деякої множини критеріїв. Описано відомі критерії оцінки розміщення. В розробленій комп'ютерній системі "Розмел" реалізовано два критерії оцінки якості кожного допустимого розміщення S_i (рис. 1). Перший критерій F_1 визначається сумою зважених довжин мінімальних зв'язних дерев всіх зв'язків $e_j \in E$:

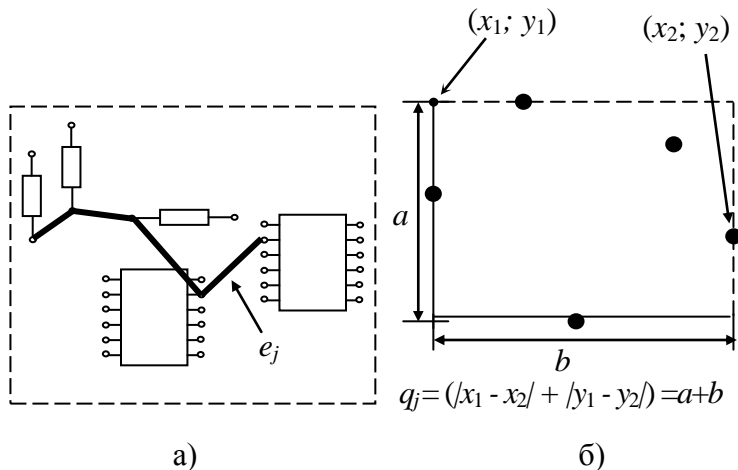


Рис. 1. Критерії оцінки розміщення: мінімальне зв'язне дерево зв'язку e_j (а); півпериметр прямокутника охоплення зв'язку e_i (б)

системі "Розмел" реалізовано два критерії оцінки якості кожного допустимого розміщення S_i (рис. 1). Перший критерій F_1 визначається сумою зважених довжин мінімальних зв'язних дерев всіх зв'язків $e_j \in E$:

$$F_1(S_i) = \sum_j^m b_j \cdot t_j,$$

де t_j – довжина зв'язного дерева зв'язка e_j , що визначається довжинами його складових ребер (рис. 1а); b_j – коефіцієнт, який враховує деякі додаткові чинники, наприклад, важливість зв'язка.

Другий критерій F_2 , визначається сумою півпериметрів прямокутників, кожний з яких охоплює всі точки зв'язку $e_j \in E$ (рис. 1б):

$$F_2(S_i) = \sum_{j=1}^m b_j \cdot q_j; \quad q_j = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|.$$

Кожне розміщення S_i елементів множини P в просторі Z можна представити як деяке відображення $S_i: P \rightarrow Z$.

На основі введених понять формулювання задачі можна представити так: необхідно знайти таке розміщення S^* , при якому оптимізується значення вибраного критерію якості

$$F(S^*) \rightarrow \underset{S_i}{opt}[F(S_i)]; \quad S_i \in D,$$

де S_i – деяке розміщення в області допустимих розв'язків D , яке визначається заданими обмеженнями, зокрема конфігурацією області та елементів розміщення, вимогами на проміжки між елементами, забороненими для розміщення зонами та іншими.

У розробленій комп'ютерній системі положення структурних елементів та одиниці вимірювання відстаней визначаються в базі даних системи P-CAD, де використовуються умовні одиниці (у.о.) для оцінки розміщення.

У другому розділі представлено розроблені алгоритми початкового розміщення:

- алгоритм послідовного нарощування за зв'язністю;

– алгоритм дворівневого розміщення шляхом групування за висхідною стратегією;

– алгоритм низхідного ієрархічного розміщення.

У роботі розвинуто ієрархічне макромоделювання на основі багаторівневої кластеризації схеми, яке дозволяє виділити групи сильнозв'язаних елементів (кластери) – макроелементи, які доцільно розміщувати щільно. Групи елементів нижчого рівня можуть об'єднуватись в групи вищого рівня, утворюючи декілька рівнів ієрархії. Як базовий використовується метод оптимального згортання схеми, розроблений професором Р.П. Базилевичем. Математичною моделлю ієрархічної кластеризації є дерево оптимального згортання схеми. Кожна вершина дерева згортання відповідає певному кластеру, який розглядається як макроелемент. При побудові дерева використовуються критерії, за якими відбувається об'єднання елементів в кластери – макроелементи, що описуються макромоделями. Для побудови дерева оптимального згортання досліджено можливості використання трьох критеріїв:

– максимізації кількості внутрішніх зв'язків $Max|E_{вн}|$ між елементами (кластерами);

– мінімізації кількості зовнішніх зв'язків $Min|E_{зн}|$ між елементами (кластерами);

– максимізації різниці кількості внутрішніх та зовнішніх зв'язків $Max(|E_{вн}|-|E_{зн}|)$ між елементами (кластерами).

У розробленій на основі розвинутої методології комп'ютерній системі "Розмел" додатково реалізовано відомий алгоритм послідовного нарощування, який в даній роботі використаний для порівняння з алгоритмами висхідного дворівневого та низхідного ієрархічного розміщення. Алгоритм послідовного нарощування має близьку до лінійної обчислювальну складність і його використання дозволяє за малий час сформувати початкове розміщення. Основним недоліком цього алгоритму є недостатнє врахування характеристик зв'язності між елементами в групах, через що результати розміщення даним алгоритмом є недостатньо якісними. Алгоритм є прийнятним для початкового розміщення невеликої кількості елементів.

В алгоритмі дворівневого групування елементів за висхідною стратегією вхідною інформацією про зв'язність між елементами та їх групами служить дерево оптимального згортання.

Алгоритм дворівневого групування елементів включає етапи (рис. 2):

1. Побудова дерева оптимального згортання T^R .

2. Формування множини P^R груп елементів на основі перегляду дерева оптимального згортання T^R (рис. 2а), $P^R = \{P_1, \dots, P_m\}$, де $m = |P^R|$; $\forall P_i, P_j \in P^R (P_i \cap P_j = \emptyset)$.

Кількість груп елементів m задається та вибирається невеликим в межах 2-5.

3. Розміщення елементів в групах (рис. 2б) в умовному просторі, не прив'язаному до конкретних значень координат конструктиву (відносні координати) на основі методу послідовного нарощування. На цьому етапі формується множина

розміщень $S^R = \{S_1, \dots, S_m\}$, де S_1, \dots, S_m – відповідні розміщення елементів в множинах P_1, \dots, P_m . Габарити кожної групи формуються на основі значень координат крайніх точок елементів, що входять в групу.

4. Розміщення сформованих груп елементів на поверхні конструктиву (рис. 2 в), яке здійснюється компактно з дотриманням заданих обмежень на основі повного перебору можливих варіантів. Оскільки m є невеликим, то число таких варіантів $m!$ є прийнятним з точки зору обчислювальних затрат.

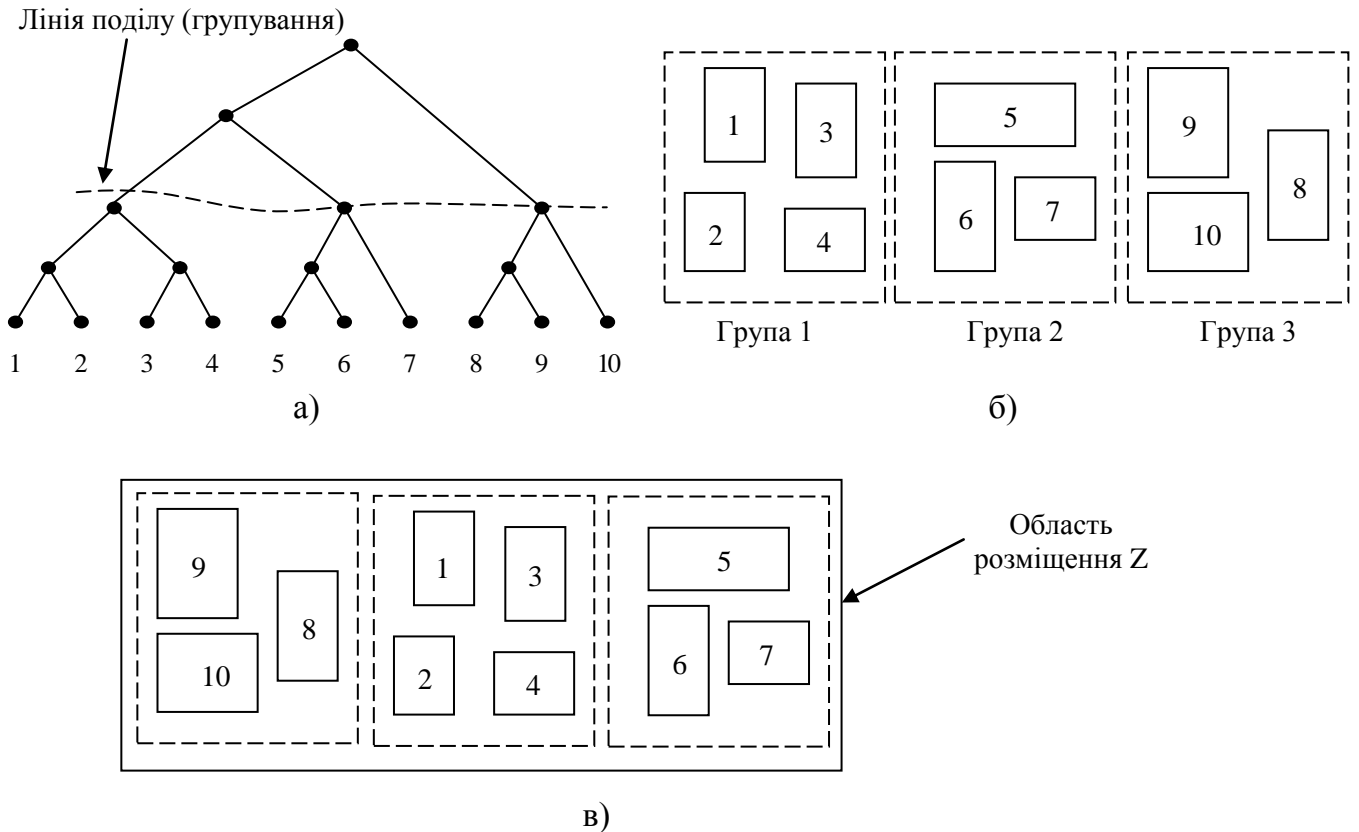


Рис. 2. Етапи алгоритму дворівневого розміщення: виділення кластерів на основі дерева оптимального згортання (а); початкове розміщення елементів в групах без врахування зв'язків з іншими групами (б); розміщення груп на поверхні конструктиву з врахуванням зв'язків між групами (в)

Обчислювальна складність алгоритму визначається сумою трьох складових:

- складністю алгоритму побудови дерева згортання ($n \cdot \log_2 n$);
- складністю алгоритму послідовного нарощування, помноженого на кількість груп $\sum_i n_i, i = 1, \dots, m$;

- складністю алгоритму взаємного розміщення груп ($m!$).

Враховуючи вищесказане, обчислювальна складність алгоритму приблизно складає $\left(n \cdot \log_2 n + \sum_i n_i + m! \right)$, де n_i – кількість елементів в i -й групі, m – кількість груп, що утворені при розбитті.

Алгоритм низхідного ієрархічного розміщення використовує вхідну інформацію про зв'язність між елементами та їх групами з аналізу дерева оптимального згортання. Алгоритм здійснює перегляд дерева згортання за

низхідною стратегією і формує ієрархічно вкладені сильнозв'язані групи елементів (кластери) – макроелементи.

На кожному рівні розбиття формуються множини макроелементів, що підлягають розміщенню. Макроелемент P_i відповідає деякій вершині дерева згортання (кластеру) і описується макромоделлю M_i . Макромоделль M_i описує макроелемент P_i , як множину сильнозв'язаних елементів, які розглядаються як єдине ціле і розміщуються всередині виділеної для них прямокутної області. Внутрішні зв'язки в макромоделі нехтуються, приймаються до уваги лише її зовнішні зв'язки, тобто зв'язки з іншими макроелементами.

Процес поділу макроелементу на частини передбачає поділ множини P елементів та прямокутної області Z , де повинні розміститись її складові елементи (макроелементи нижчого рівня декомпозиції). У випадку бінарного дерева згортання при поділі утворюються два макроелементи. Кожен з них відповідає гілці, що виходить від вершини дерева згортання.

Поділ на макроелементи починається з найвищої вершини дерева згортання (кореня), яка відповідає першому верхньому рівню розбиття. Процес поділу макроелементів на нижчих рівнях продовжується і триває аж до найнижчого рівня.

Кількість макроелементів, що утворюються при ієрархічному поділі на наступному нижчому $(r-1)$ -му рівні визначається кількістю гілок дерева згортання, що виникають на рівні r . На кожному рівні розбиття r можна виділити дві підмножини макроелементів: $P_1^r = \{P_{11}^r, \dots, P_{1m}^r\}$, $(m \leq n)$; $P_2^r = \{P_{21}^r, \dots, P_{2k}^r\}$, $(k \leq n)$; де r – номер рівня розбиття дерева згортання; P_1^r – множина макроелементів, що будуть розбиватися на наступному рівні, $m=|P_1^r|$; P_2^r – множина макроелементів, що не будуть розбиватися на наступному рівні, $k=|P_2^r|$.

Для множин P_1^r та P_2^r виконуються наступні умови: $P_1^r \cup P_2^r = P^r$, $P_1^r \cap P_2^r = \emptyset$, де P^r – множина всіх макроелементів на рівні r дерева згортання.

Приклад формування макроелементів на основі низхідного аналізу дерева згортання T^R представлено на рис. 3.

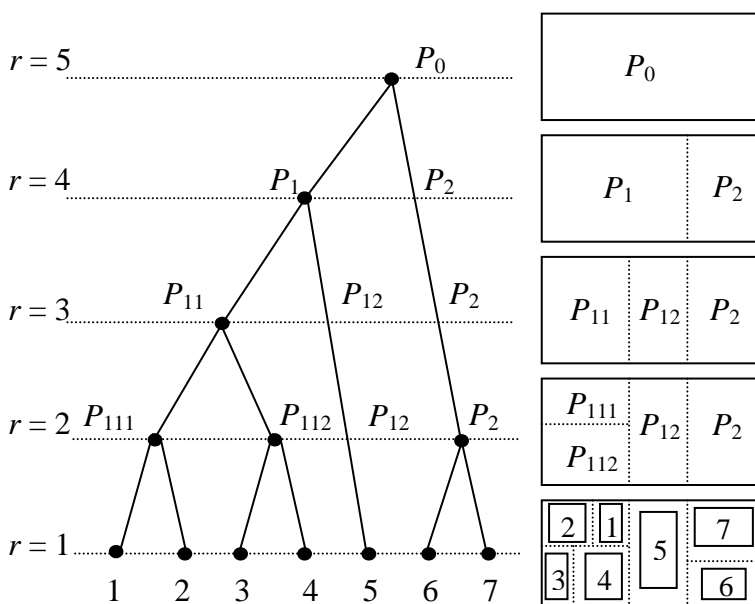


Рис. 3. Низхідний процес утворення макроелементів та розміщення елементів

Обчислювальна складність алгоритму низхідного ієрархічного розміщення визначається обчислювальними складностями таких складових:

- алгоритму побудови дерева згортання;
- алгоритму розбиття макроелементів.

Враховуючи вищесказане, обчислювальна складність при бінарному поділі наближено складає $(n \cdot \log_2 n + n^2)$.

Перевагою даного алгоритму є формування якісного початкового розміщення, що забезпечується врахуванням зв'язності

між макроелементами, інформація про яку отримується з аналізу дерева згортання.

Порівняльні результати розміщень для трьох реалізованих алгоритмів формування початкового розміщення наведені в табл. 1. Алгоритм послідовного нарощування позначено як А1, алгоритм дворівневого групування як А2, алгоритм низхідного ієрархічного розміщення як А3. Всі результати отримані для 11 реальних конструктивів. Для оцінки розміщення використано критерій F_1 . Алгоритм А2 дав покращення значення критерію в порівнянні з алгоритмом А1 для всіх конструктивів, крім одного (погіршення на 0,43%). Алгоритм А3 для всіх розглянутих конструктивів покращив результати.

Таблиця 1. Порівняльні результати розміщення реалізованими алгоритмами

Конструктив	Кількість елементів	Значення критерію, у.о.			% покращення відносно А1	
		А1	А2	А3	А2	А3
1	147	511 638	425 689	372 467	16,80	27,20
2	186	2 770 300	2 285 663	2 113 079	17,49	23,72
3	171	3 524 228	2 945 621	2 517 680	16,42	28,56
4	118	986 546	753 647	695 749	23,61	29,48
5	93	637 592	605 211	536 787	5,08	15,81
6	28	198 700	199 560	196 680	-0,43	1,02
7	49	407 635	379 512	356 173	6,90	12,62
8	149	1 331 797	1 309 204	1 234 329	1,70	7,32
9	101	721 530	675 428	598 734	6,39	17,02
10	36	577 241	559 813	546 894	3,02	5,26
11	134	637 780	579 210	536 051	9,18	15,95

У третьому розділі описано розроблені алгоритми оптимізації розміщення різногабаритних елементів. Розглянуто два підходи:

1. Алгоритм точкового сканування.
2. Алгоритм сканувальної області.

Алгоритми використовують деяке початкове розміщення. Алгоритм точкового сканування дозволяє оптимізувати положення елемента відносно інших, вже розміщених елементів. Його суть полягає в послідовному покроковому проходженні елементом всієї області конструктиву та пошуку позиції з найкращим значенням

критерію. Точкове сканування розвинуто як для базових, так і вперше для макроелементів (рис.4).

Алгоритм точкового сканування використовується в двох аспектах:

- як окремий алгоритм;
- як складова частина комбінації інших алгоритмів при пошуку найкращої позиції для базового чи макроелементу.

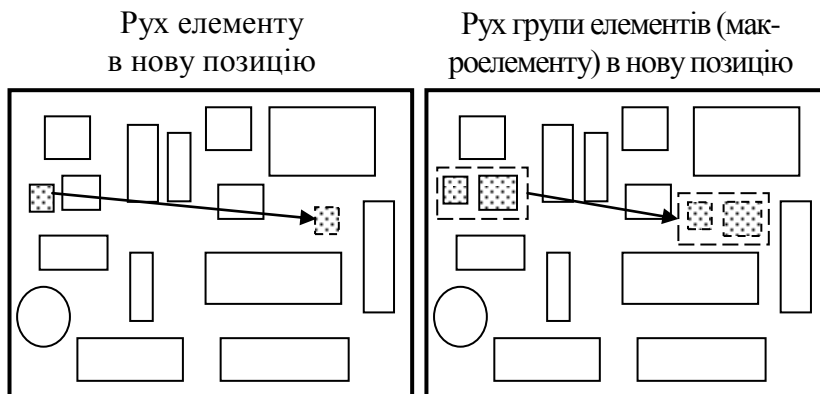


Рис. 4. Приклад руху базового та макроелементу у межах конструктиву з пошуком найкращого положення

Таблиця 2. Результати оптимізації початкового розміщення алгоритмом точкового сканування

№ конст-руктиву	Загальна кількість елементів	Значення критерію F_1 в у.о.		Покращення в %
		Розміщення 1	Розміщення 2	
1	147	343 876	335 890	2,32
2	186	1 929 625	1 916 632	0,67
3	171	1 964 783	1 910 234	2,78
4	118	735 112	721 980	1,79
5	93	445 128	415 920	6,56
6	28	175 550	173 304	1,28
7	49	456 101	446 919	2,01
8	149	1 579 350	1 529 212	3,17
9	101	566 600	555 524	1,95
10	36	614 175	584 111	4,90
11	134	371 050	365 158	1,59

У табл. 2 наведено результати оптимізації розміщення алгоритмом точкового сканування. У даному тестуванні як початкове використано розміщення, сформоване системою P-CAD (Розміщення 1), після якого здійснювалась його оптимізація алгоритмом точкового сканування (Розміщення 2). Оцінка розміщення здійснювалась за критерієм F_1 . Для всіх конструктивів отримано покращення значення критерію (в межах 0,67-6,56%).

Обчислювальна складність алгоритму точкового сканування є близькою до лінійної $O(n)$ і

залежить виключно від числа елементів, положення яких оптимізується.

Реалізований алгоритм сканувальної області має дві модифікації:

- сканувальна область для базових елементів;
- сканувальна область для макроелементів.

Метод сканувальної області полягає в розбитті конструктиву на деяку множину областей, що взаємно перетинаються та містять невелику кількість елементів (3-6). Для кожної з цих областей задача розв'язується точними або наближеними методами. В програмній реалізації за одну ітерацію відбувається послідовне проходження всіх областей з повним перебором варіантів розміщення сформованих груп елементів в кожній області. Процес оптимізації закінчується, коли значення критерію на черговій ітерації не покращується. Як правило, достатньо 2-3 повних ітерацій.

Перед початком оптимізації кожний елемент p_i знаходиться в деякій позиції z_i . Початкове розміщення визначає початкове значення вибраного критерію. Наступне розміщення порівнюється з початковим і, якщо воно краще, то приймається як новий результат. На рис. 5 наведено приклад процесу оптимізації розміщення для 5 елементів областю з 3 елементів та перетином в 2 елементи. Спочатку розміщуються елементи p_1, p_2, p_5 , займаючи позиції z_1, z_2, z_5 всіма можливими способами (повний перебір варіантів) з врахуванням орієнтації елементів, кратної куту 180° . Серед всіх варіантів вибирається розміщення з найкращим значенням критерію. На наступному кроці оптимізується положення елементів, розміщених в позиціях (z_2, z_4, z_5) і т.д. В результаті (рис. 5 г) деякі елементи змінили свої позиції. Кроки, представлені на рис. 5, відображають одну ітерацію.

Алгоритм включає такі етапи:

1. Формування підмножин елементів, положення яких підлягають оптимізації.
2. Для кожної виділеної підмножини елементів виконується одна ітерація оптимізації положень елементів. Сканування відбувається невеликими областями по 3-6 елементів з перетином 2-3 елементи.

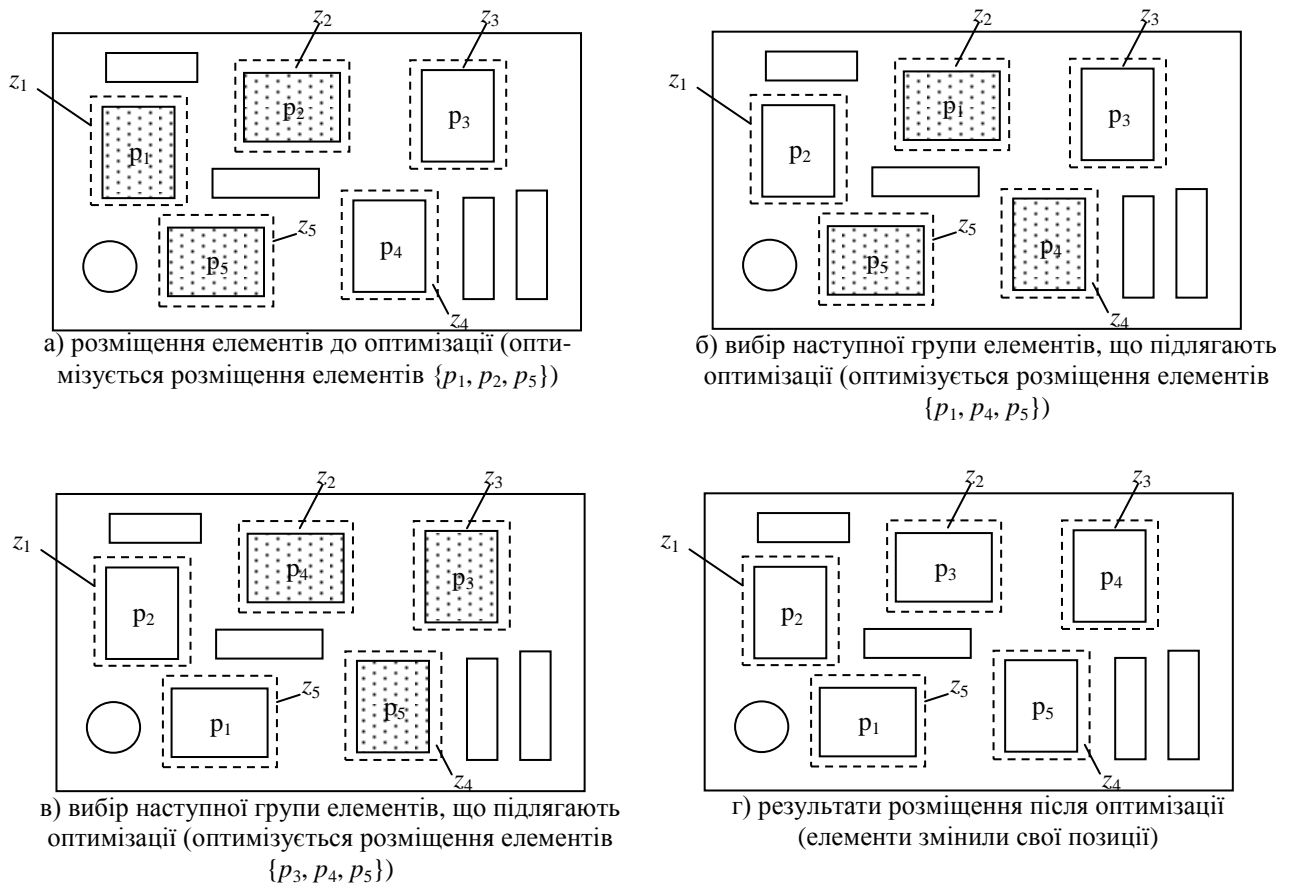


Рис. 5. Приклад процесу оптимізації розміщення для 5 однакових елементів сканувальною областю з 3 елементів

Траєкторія сканування задається таким чином, щоб охоплювати всі елементи конструктиву та з перетином кожної наступної підмножини з попередньою, вже аналізованою підмножиною елементів.

Таблиця 3. Результати оптимізації початкового розміщення алгоритмом сканувальної області

№ конст-рук-тиву	Кіль-кість еле-ментів	Значення критерію до оптимізації (P-CAD)	Значення критерію після оп-тимізації	% покращення
1	147	343 876	322 792	6,13
2	186	1 929 625	1 805 825	6,42
3	171	1 980 972	1 839 179	7,16
4	118	735 112	606 395	17,51
5	93	445 128	442 394	0,61
6	28	175 550	173 522	1,16
7	49	456 101	397 163	12,92
8	149	1 579 350	1 366 300	13,49
9	101	566 600	564 324	0,40
10	36	614 175	538 242	12,36
11	134	371 050	341 055	8,08

3. Процес оптимізації повним скануванням всього конструктиву повторюється, аж поки результати чергової оптимізації будуть незначними, або відсутніми. Як показали експерименти, звичайно достатніми є 2-3 цикли повного сканування.

Обчислювальна складність однієї базової процедури оптимізації для області з m елементів з врахуванням двох можливих орієнтацій кожного елемента визначається як $O(q_0) = O(2^m \cdot m!)$.

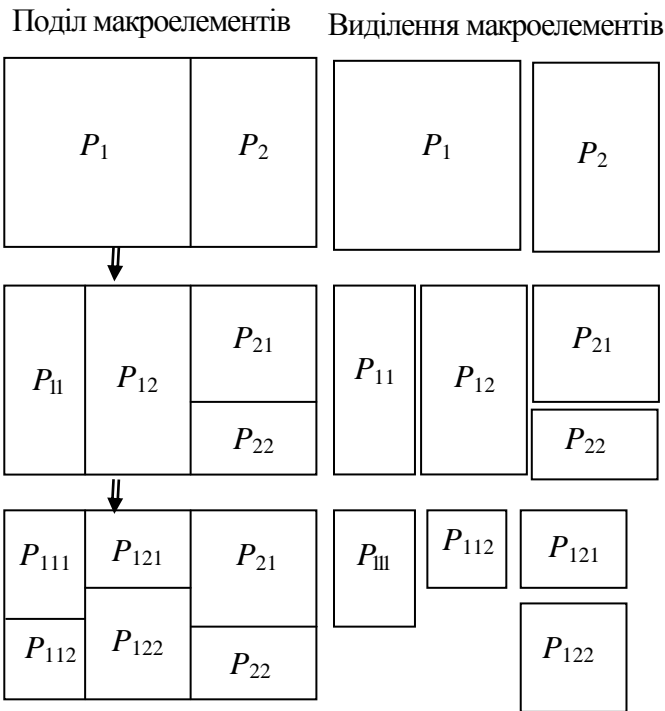


Рис. 6. Процес поділу макроелементів

Приклад утворення та поділу макроелементів, виділених методом оптимального згортання, представлений на рис. 6.

Алгоритм сканувальної області для макроелементів включає такі етапи:

1. Виділення множин елементів P_i та позицій Z_i для кожного макроелементу на всіх рівнях декомпозиції $P_i = \{p_{i_1}, \dots, p_{i_{n_i}}\}$, $Z_i = \{z_{i_1}, \dots, z_{i_{n_i}}\}$.

Таблиця 4. Результати розміщення з поєднанням алгоритмів

№ кон-струк-тиву	Кіль-кість еле-ментів	Значення критерію, у.о.		% покращення
		P-CAD	КС "Розмел"	
1	155	343 876	308 826	10,19
2	186	1 929 625	1 747 939	9,42
3	160	1 980 972	1 749 481	11,69
4	118	735 112	551 935	24,92
5	94	445 128	427 049	4,06
6	28	175 550	166 641	5,07
7	49	456 101	342 344	24,94
8	149	1 579 350	1 179 874	25,29
9	101	566 600	469 563	17,13
10	36	614 175	450 375	26,67
11	134	371 050	309 847	16,49

Значення m вибирається сталим, незалежним від розмірності задачі, а кількість областей сканування зростає лінійно зі збільшенням числа елементів. Таким чином, повна обчислювальна складність для алгоритму може бути представлена як $O(q_0 \cdot n)$.

Результати експериментальних досліджень наведені в табл. 3. Для всіх конструктивів отримано покращення значення критерію (в межах 0,4-17,51%).

На основі поєднання алгоритмів низхідного ієрархічного розміщення та сканувальної області розроблено алгоритм сканувальної області для макроелементів. Суть алгоритму полягає в оптимізації розміщення множини макроелементів, утворених з допомогою алгоритму оптимального згортання на кожному рівні декомпозиції схеми.

Кожному макроелементу P_{ij} призначається певна позиція Z_{ij} : $P_{ij} \rightarrow Z_{ij}$.

2. Формування груп макроелементів за ознакою близькості їх параметрів. У результаті утворюються групи приблизно однакових за параметрами макроелементів: $P = \{P_1, \dots, P_m\}$.

3. Застосування алгоритму сканувальної області для кожної групи макроелементів.

Використання алгоритму сканувальної області для макроелементів як засобу оптимізації при формуванні початкового розміщення алгоритмом низхідного ієрархічного розміщення для тестів дозволило покращити значення критерію в межах від 0,7 до 5% в порівнянні з результатами без такої оптимізації.

У табл. 4 наведено результати експериментів з поєднанням всіх алгоритмів оптимізації, реалізованих в комп'ютерній системі "Розмел". За основу оцінки розміщення взято критерій F_1 . Як початкове взято розміщення, сформоване алгоритмом низхідного ієрархічного розміщення. Як видно з таблиці, для задач реального проектування використання розроблених стратегій комбінування алгоритмів початкового розміщення та оптимізації точковим скануванням і сканувальною областю дало покращення в межах 4,06%-26,67% в порівнянні з результатами, отриманими системою P-CAD.

У четвертому розділі представлено архітектуру, організацію та особливості функціонування комп'ютерної системи "Розмел" для розміщення елементів електронних пристроїв, розробленої на основі розвинутих стратегій та алгоритмів. Дано детальний опис та обґрунтовано вибір структур даних для забезпечення сумісності з системою P-CAD.

Структура розробленої комп'ютерної системи включає такі складові частини:

- діалогову підсистему;
- підсистему керування базою даних;
- підсистему проектування;
- підсистему інтерактивної машинної графіки.

Процес взаємодії між підсистемами реалізовано підсистемою керування, яка здійснює конфігурування комп'ютерної системи, виділяє необхідні ресурси для підсистем. Введення інформації про конструктив та розміщення елементів реалізується діалоговою підсистемою, яка отримує її з файлів системи P-CAD. Діалогова підсистема здійснює вибір алгоритмів розміщення, значень їх параметрів, послідовності дій, тобто маршруту проектування при формуванні розміщення як автоматизованим шляхом, так і вручну. Є можливість зберегти тимчасове розміщення у відповідних файлах для подальшого його використання.

Візуалізація поточного розміщення та додаткової інформації (площа виділених елементів, поточне значення критерію, тощо) реалізується у підсистемі машинної графіки, яка виконує такі функції:

- вивід контурів конструктиву та меж заборони трасування;
- вивід характеристик розміщених на конструктиві елементів;
- візуалізація дерева оптимального згортання схеми;
- вивід інформації про поточне значення критерію, внутрішню та зовнішню зв'язність між виділеними елементами, області накладання розміщених елементів, площі, зайнятої елементами та інше.

У підсистемі машинної графіки з допомогою спеціальних процедур є можливість перегляду та повернення до сформованих варіантів розміщень, які були досягнуті на попередніх кроках проектування.

У локальній базі даних міститься інформація про тимчасові (поточні) результати пройдених етапів проектування, яка заноситься у внутрішні структури даних підсистемою керування базою даних.

Безпосередню реалізацію алгоритмів розміщення та контроль за його результатами забезпечує підсистема проектування, яка включає в себе підсистеми формування початкового розміщення, оптимізації розміщення та контролю за даними.

На рис. 7 зображено функціональну схему системи "Розмел", яка має такі основні частини: робота з файловою системою, формування розміщення, інтерфейс взаємодії з користувачем.

Підсистема роботи з файлами оперує .pdf файлами системи P-CAD і дозволяє читати та зберігати всю необхідну інформацію про конструктив та розміщення елементів на ньому.

Засоби формування розміщення включають ручні та автоматизовані процедури. При ручному способі є можливість змінювати положення елемента та його орієнтацію. Завдяки засобам інтерактивної взаємодії з комп'ютером при ручному формуванні розміщення користувач має можливість зручно маніпулювати як окремими, так і макроелементами. При цьому можна спостерігати зміну поточного значення критерію, фіксуючи позицію, в якій воно є найкращим.

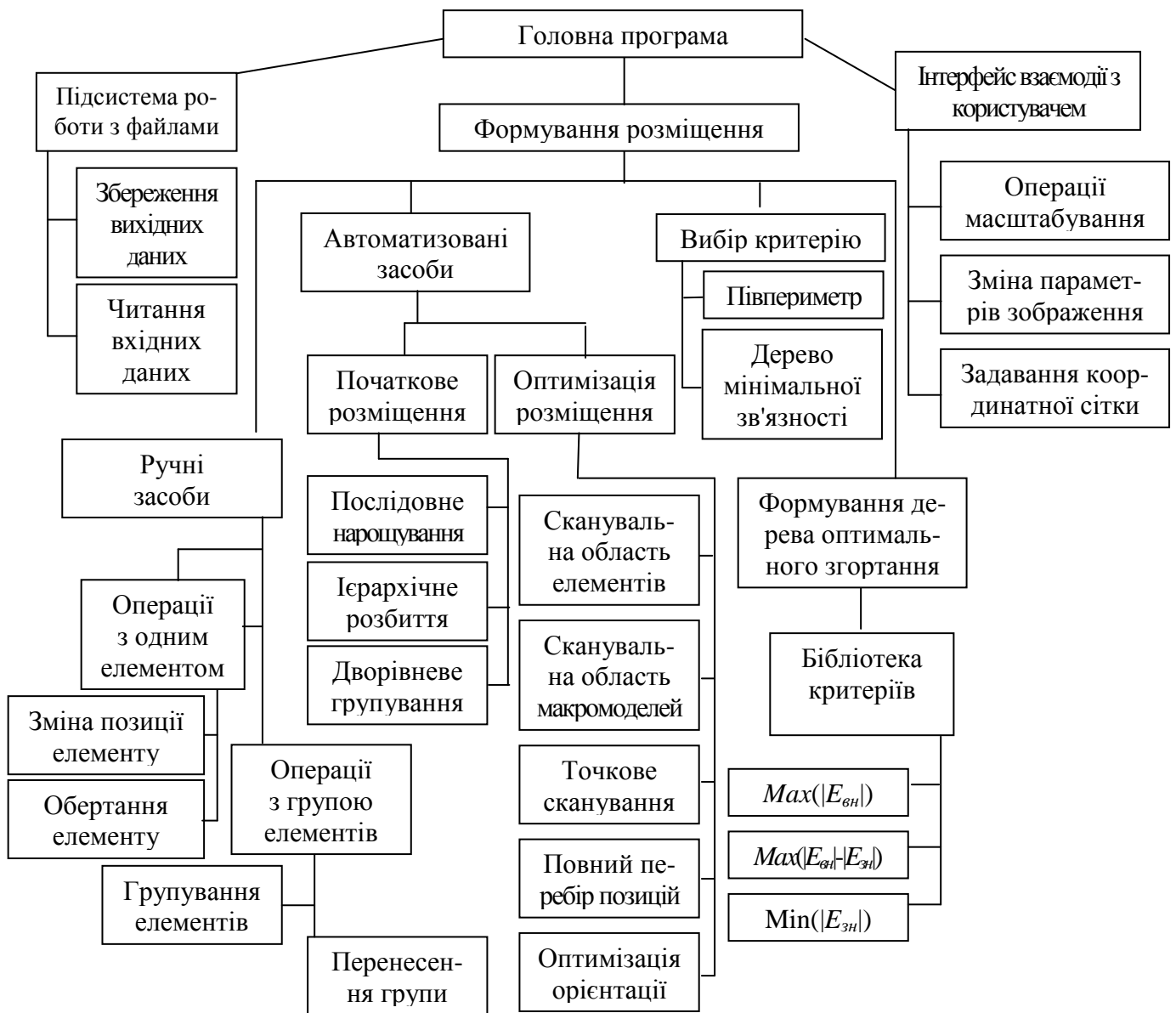


Рис. 7. Функціональна схема комп'ютерної системи "Розмел"

Для досягнення якісного розміщення, в розробленій комп'ютерній системі проєктанту надається ряд автоматизованих засобів:

- алгоритм розміщення на основі дворівневого групування за висхідною стратегією;
- алгоритм низхідного ієрархічного розміщення з можливістю подальшої оптимізації методом сканувальної області для макромоделей;
- алгоритм послідовного нарощування;
- алгоритм точкового сканування як окремими елементами, так і макроелементами;
- алгоритм оптимізації орієнтації елементів з її зміною;
- алгоритм повного перебору варіантів розміщення для множини елементів на множині позицій;
- алгоритм сканувальної області.

Комп'ютерну систему розроблено з використанням засобів інструментальної системи Delphi на мові програмування Pascal, яка може експлуатуватися під управлінням сімейства операційних систем Windows XP. Вона складається з 77 модулів і 32 форм. Містить близько 12 тисяч операторів. Вихідний код системи складає 536,9 Кб. При проєктуванні модулів відбувалося поєднання об'єктно-орієнтованого підходу до програмування з процедурно-орієнтованим. Для проєктування форм використано засоби бібліотеки візуальних компонент інтегрованого середовища програмування Delphi.

Встановлені допустимі обмеження при реалізації системи відповідають обмеженням системи P-CAD. Максимально допустима кількість елементів на платі становить 1000, максимальна кількість зв'язків – 1000, максимальна кількість виводів в елементі – 170.

ВИСНОВКИ

В результаті виконаних досліджень розв'язано наукову задачу розроблення методів та алгоритмів розміщення різногабаритних елементів електронних пристроїв, які поєднують принципи багаторівневої декомпозиції та ієрархічної оптимізації і реалізовані в комп'ютерній системі "Розмел" з інтеграцією в сучасній системі автоматизованого проєктування P-CAD, що покращило якість проєктування.

Отримано такі наукові і практичні результати:

1. Аналіз та дослідження відомих систем автоматизованого проєктування засобів приладобудівної та електронної техніки (зокрема, P-CAD та ACCEL) виявили, що якість розв'язування задачі розміщення різногабаритних елементів електронних пристроїв є недостатньо високою та вимагає покращення.

2. Для покращення якості розміщення різногабаритних елементів конструкцій електронної апаратури в системах автоматизованого проєктування запропоновано поєднати багаторівневі алгоритми низхідного та висхідного розміщення базових та макроелементів з алгоритмами глобальної та локальної оптимізації на кожному рівні ієрархічної декомпозиції схеми.

3. Розроблено, розвинуто і експериментально досліджено для конструкцій з різногабаритними елементами два підходи для отримання початкового розміщення:

- висхідного дворівневого розміщення з послідовним нарощенням елементів, придатного для отримання якісних розв'язків з невеликою кількістю елементів;
- низхідного ієрархічного багаторівневого розміщення з використанням макромоделей, придатного для отримання якісних розв'язків для задач з великою кількістю елементів.

Обґрунтовано доцільність сумісного використання обох підходів: на верхніх рівнях – низхідне ієрархічне розміщення, на нижніх двох рівнях – послідовне нарощування елементів з врахуванням зв'язків з рештою елементів.

4. Для оптимізації положення як базових, так і макроелементів, розроблено, розвинуто та експериментально досліджено алгоритми:

- точкового сканування (розроблено вперше);
- сканувальної області.

Обґрунтовано доцільність сумісного комбінування обох алгоритмів на кожному кроці ієрархічної декомпозиції схеми.

5. Розроблені та досліджені алгоритмічні засоби мають близьку до лінійної обчислювальну складність та ряд додаткових нових функційних можливостей, зокрема виділяти сильнозв'язані групи елементів з наступним описом їх ієрархічно-вкладеними макромоделями, комбіновано поєднувати на кожному кроці багаторівневої декомпозиції набір алгоритмів початкового розміщення та його оптимізації з використанням макромоделювання. Алгоритмічні засоби забезпечують також вибір орієнтації елементів, виділення фіксованих місць для окремих елементів, виділення зон, заборонених для розміщення елементів.

Експериментально досліджено ефективність розроблених алгоритмів та програмних засобів на задачах реальних конструкцій електронної апаратури. Застосування розробленої комп'ютерної системи "Розмел" для таких задач підвищило якість отриманих розв'язків до 26,6% в порівнянні з результатами, одержаними системою P-CAD.

6. Розроблено комп'ютерну систему "Розмел", яка реалізує комплекс розроблених алгоритмічних засобів, має гнучку модульну структуру з власними засобами керування та призначена як для автономного використання, так і для взаємодії з системами автоматизованого проектування широкого використання, такими як P-CAD, ACCEL та іншими.

Система має засоби інтерактивної взаємодії, які забезпечують покращення якості отриманих розв'язків для задач, що погано формалізуються, особливо у випадку великого розкиду габаритів елементів, наявності фіксованих елементів та заборонених зон. Вперше запропоновано виводити в діалогове вікно (для використання проектантом) інформацію про структуру дерева оптимального згортання, що дозволяє оперувати ієрархічно-вкладеними макроелементами, які відповідають групам сильнозв'язаних елементів – кластерам схеми.

7. Розроблену комп'ютерну систему "Розмел" впроваджено в процес реального проектування друкованих плат в Науково-дослідному і конструкторському інституті електронної вимірювальної та обчислювальної техніки (м.Львів) та в навчальний процес на кафедрі "Програмне забезпечення" Національного університету „Львівська політехніка”.

СПИСОК ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Базилевич Р. П. Штучна ієрархічна кластеризація в задачах розміщення різногабаритних елементів / Р. П. Базилевич, І. Ф. Щерб'юк // Штучний інтелект. – 2002. - № 3. - С. 484-489.
2. Базилевич Р. П. ППП "Розмел" для формування розміщення різногабаритних елементів. / Р. П. Базилевич, І. Ф. Щерб'юк // Вісник Національного університету "Львівська політехніка": Комп'ютерні науки та інформаційні технології. - 2005. - № 543. - С. 64-67.
3. Базилевич Р. П. Низхідне розміщення різногабаритних елементів з оптимізацією методом сканувальної області / Р. П. Базилевич, І. Ф. Щерб'юк // Вісник Національного університету "Львівська політехніка": Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології. - 2002. - № 468. - С. - 34-37.
4. Базилевич Р. П. Застосування ієрархічної кластеризації для розміщення різногабаритних елементів / Р. П. Базилевич, І. Ф. Щерб'юк // Вісник Національного університету "Львівська політехніка": Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології. - 2002. - № 450. - С. 80-84.
5. Базилевич Р. П. Низхідне багаторівневе розміщення різногабаритних елементів / Р. П. Базилевич, І. Ф. Щерб'юк // Комп'ютерні технології друкарства: алгоритми, сигнали, системи. - 2002. - № 9. - С. 90-95.
6. Базилевич Р. П. Розміщення різногабаритних елементів поєднанням ієрархічних висхідної та низхідної стратегій / Р. П. Базилевич, І. Ф. Щерб'юк // Вісник Національного університету "Львівська політехніка": Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології. - 2003.- № 496. - С. 5-10.
7. Базилевич Р. П. Початкове розміщення елементів методом групування та дворівневого макромодельовання / Р. П. Базилевич, І. Ф. Щерб'юк // Вісник Національного університету "Львівська політехніка": Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології. - 2001. - № 433. - С. 48-50.
8. Базилевич Р. П. Оптимізація розміщення елементів методом точкового сканування / Р. П. Базилевич, І. Ф. Щерб'юк // Комп'ютерні технології друкарства: алгоритми, сигнали, системи. - 2000. - № 4. - С. 179-182.
9. Базилевич Р. П. Початкове розміщення елементів нарощуванням / Р. П. Базилевич, І. Ф. Щерб'юк // Вісник Національного університету "Львівська політехніка": Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології. - 2000. - № 392. - С. 54-57.
10. Базилевич Р.П. Оптимізація орієнтації елементів в задачах розміщення / Р. П. Базилевич, І. Ф. Щерб'юк // Вісник Національного університету "Львівська політехніка": Комп'ютерні науки та інформаційні технології. - 2007. № 604. - С. 47- 51.
11. Базилевич Р. П. Алгоритмические и программные средства для размещения разногабаритных элементов на конструктиве / Р. П. Базилевич, И. Ф. Щерб'юк // Автоматизация проектирования дискретных систем (НАН Республики Беларусь). - Минск, Беларусь, 2007. - № 6. - С. 157-164.
12. Базилевич Р. П. Оптимізація розміщення елементів з візуалізацією дерева згортання / Р. П. Базилевич, І. Ф. Щерб'юк // Proceedings of the International conference on computer science and information technologies. - Lviv, 2007. - P. 144-146.

АНОТАЦІЇ

Щерб'юк І.Ф. Алгоритмічне та програмне забезпечення для розміщення різногабаритних елементів електронних пристроїв комбінованими методами ієрархічної оптимізації. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.12 – "Системи автоматизації проектувальних робіт". – Національний університет "Львівська політехніка", Львів, 2008.

Дисертацію присвячено питанням розробки та дослідження алгоритмічних та програмних засобів розміщення різногабаритних елементів на конструктиві.

Досліджено особливості задач розміщення для різногабаритних елементів. Розроблено алгоритм багаторівневого низхідного ієрархічного розміщення з можливістю оптимізації на кожному рівні декомпозиції сканувальною областю для макромоделей. Розроблено алгоритм на основі дворівневого групування за висхідною стратегією. Розвинуто алгоритм сканувальної області з врахуванням особливостей реалізації для різногабаритних елементів. Вперше реалізовано алгоритм сканувальної області для макромоделей. Розроблено алгоритм точкового сканування елементом та групою елементів конструктиву.

Проведено експериментальні дослідження розроблених алгоритмів та дано порівняльний аналіз ефективності кожного з них. Для розробленого алгоритмічного забезпечення створено комп'ютерну систему для використання в проектуванні електронних пристроїв, зокрема друкованих плат.

Ключові слова: розміщення елементів, сканувальна область, точкове сканування, низхідне ієрархічне розміщення, стратегії сканування, комп'ютерна система, засоби проектування.

Щербюк И.Ф. Алгоритмическое и программное обеспечение для размещения разногабаритных элементов электронных устройств комбинированными методами иерархической оптимизации. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 - "Системы автоматизации проектировальных работ". – Национальный университет "Львовская политехника", Львов, 2008.

Диссертация посвящена вопросам разработки и исследованию алгоритмических и программных средств размещения разногабаритных элементов на конструктиве.

Исследованы особенности задач размещения для разногабаритных элементов. В работе развивается иерархическое макро моделирование на основе многоуровневой кластеризации схемы, которое позволяет выделить группы сильно связанных элементов – макроэлементы, которые желательно размещать вплотную. Как базовый используется метод оптимального свертывания схемы, в котором математической моделью иерархической кластеризации служит дерево оптимального свертывания.

Разработан алгоритм многоуровневого нисходящего иерархического размещения с возможностью оптимизации сканирующей областью для макромоделей на всех уровнях декомпозиции.

Разработан алгоритм начального размещения элементов, основанный на двухуровневом группировании по восходящей стратегии при объединении элементов в группы на одном уровне декомпозиции.

Развит алгоритм сканирующей области с учетом особенностей реализации для разногабаритных элементов, который используется как средство оптимизации положения элементов на каждом уровне иерархической декомпозиции. Впервые разработана реализация алгоритма сканирующей области для макроэлементов. Разработан алгоритм точечного сканирования элементом и группой элементов конструктива.

Проведены экспериментальные исследования разработанных алгоритмов и дан сравнительный анализ эффективности каждого из них. Для разработанного алгоритмического обеспечения создана компьютерная система с целью использования при проектировании электронных устройств, в частности печатных плат, с помощью которой размещение, сформированное системой P-CAD, может модифицироваться. Исходные данные об элементах и их размещении получают из PDF-файлов системы P-CAD. Дальнейшее формирование размещения элементов осуществляется компьютерной системой с помощью реализованных в ней алгоритмов и средств.

Ключевые слова: размещение элементов, сканирующая область, точечное сканирование, нисходящее иерархическое размещение, стратегии сканирования, компьютерная система, средства проектирования.

Shcherb'yuk I.F. Algorithms and software for placement of various size elements of electronic devices by combined methods of hierarchical optimization. - Manuscript.

Thesis for candidate of technical sciences degree by speciality 05.13.12 - "Computer aided design systems". - Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2008.

The dissertation deals with the elaboration and investigation of algorithms and software of placement of various size elements of the electronic devices.

Peculiarities of tasks of placement various size elements is investigated. The algorithm of multilevel top-down hierarchical placement with further optimization of scanning area for macromodels is developed. The algorithm based on two-level bottom-up strategy is developed. The point scanning algorithm with provision for particularities for various size elements is proposed. The scanning area algorithm for macromodels is developed. The algorithm of point scanning by element or group of elements is suggested.

The experimental investigations at the basis of proposed algorithms are made and the comparative analysis of efficiency is given. The computer system with proposed algorithms is developed.

Key words: elements placement, scanning area, point scanning, top-down hierarchical placement, scanning strategies, computer system, design facilities.