

# АРХІТЕКТУРА ТА КОМПОНЕНТИ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Р.Базилевич, І. Щерб'юк  
Національний університет "Львівська політехніка"

УДК 621.382

## РОЗМІЩЕННЯ РІЗНОГАБАРИТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПОЄДНАННЯМ ІЄРАРХІЧНИХ НИЗХІДНОЇ ТА ВИСХІДНОЇ СТРАТЕГІЙ

© Базилевич Р., Щерб'юк І., 2003

*Розвинуто методологію розміщення різногабаритних елементів на основі поєднання низхідної та висхідної стратегій. Низхідна стратегія забезпечує багаторівневу декомпозиції схеми з визначенням геометричних зон для макроелементів. На найнижчому рівні розміщуються базові елементи в межах виділених геометричних зон. Висхідна стратегія використовується для оптимізації розміщення на всіх рівнях декомпозиції. Експерименти підтвердили ефективність такого підходу для розміщення елементів друкованих плат.*

*The methodology of different size elements' placement is developed by combining the top-down and bottom-up strategies. The top-down strategy is aimed for multilevel circuit decomposition with determining the geometric zones for macroelements. Basic circuit elements are placed at the lowest level of decomposition. Bottom-up strategy is used for hierarchical optimization at all level of decomposition. Experiments confirm the effectiveness of developed approach for PCB placement.*

### Вступ

Програми розміщення різногабаритних елементів конструктивів радіоелектронної апаратури та засобів комп'ютерної техніки реалізовані у більшості сучасних систем комп'ютерного проектування, наприклад в *AUTOCAD*. Проте якість розв'язування цих задач є недостатньо високою, незважаючи на значні доробки у цій царині [1]. Це викликає необхідність подальшого вдосконалення алгоритмів. Суттєвою особливістю задач

є те, що вона з математичної точки зору належить до комбінаторних оптимізаційних задач, що мають експоненційну обчислювальну складність, тобто належить до класу  $NP$ . Точні методи знаходження розв'язку за вибраним критерієм оптимальності є непридатними для реальних задач не тільки великої, але й навіть малої розмірності. Серед наближених методів добре себе зарекомендували методи багаторівневої низхідної декомпозиції для отримання початкового розв'язку та сканувальної області для його оптимізації [2]. Ці методи дають добрі результати для задач з одногабаритними елементами, навіть у випадку їх великої розмірності [3]. Доцільним є їх поширення на задачі з різногабаритними елементами.

### Формулювання задачі

Заданою є схема  $S = (P, E)$ , де  $P = \{p_1, \dots, p_n\}$  – множина складових елементів, та  $E = \{e_1, \dots, e_m\}$  – множина зв'язків між ними. Необхідно розмістити елементи множини  $P$  на поверхні  $Z$  так, щоб мінімізувати сумарну довжину зв'язків  $L$ :

$$L^* \rightarrow \min L_\xi; L^* = \sum_{i=1, \dots, n} l_i^*, L_\xi = \sum_{i=1, \dots, n} l_{p_i} l_i \in D.$$

Тут  $l_i$  – довжина зв'язку  $e_i$ ,  $L_\xi$  – сумарна довжина зв'язків для деякого  $\xi$ -го розміщення, а  $l_i^*$  та  $L^*$  – для отриманого розміщення,  $D$  – область допустимих розв'язків. У багатьох випадках в такій області на окремі зв'язки можуть даватися певні обмеження на їх довжини як зверху, так і знизу:

$$l_{i, \min} \leq l_i \leq l_{i, \max}.$$

Поверхня  $Z$  зазвичай задається своїми габаритами  $x_z$  та  $y_z$ . Кожен елемент  $p_i$  з множини  $P$  також задається габаритами  $x_i$  та  $y_i$ . Поверхня  $Z$  та елементи множини  $P$  можуть мати не прямокутну форму. Тоді необхідно задати її відповідними параметрами.

Задача різногабаритного розміщення є суттєво складнішою від розміщення одногабаритних елементів, оскільки габарити елементів можуть суттєво відрізнятися, що ускладнює алгоритми. Тим не менше, значна частина алгоритмів розміщення одногабаритних елементів може бути розвинута для задач із різногабаритними елементами. Необхідною є розробка додаткових процедур, що враховують габарити елементів та геометричну форму конструктива.

### Комбінована методологія розміщення різногабаритних елементів

Окремі особливості розвинутого підходу описані в [2–4]. Виокремлено найбільш важливі з них, використані для розміщення різногабаритних елементів в розробленому програмному пакеті:

1. Низхідна багаторівнева декомпозиція на основі методу оптимального згортання схеми. Для отримання розв'язку на основі ієрархічного макромодельовання для задач великих розмірностей [2].
2. Конструктивне розміщення елементів. Алгоритми придатні для отримання початкового розв'язку для задач малих розмірностей, в основному для невеликого числа елементів [2, 4].
3. Оптимізація розміщення методом сканувальної області. Алгоритми придатні

для задач середньої розмірності у випадку обмежених областей сканування [2,3].

Метод добре зарекомендував себе для задач з одногабаритними елементами.

4. Оптимізація розміщення методом точкового сканування. Алгоритми придатні для задач середньої та великої розмірності. Зона сканування може бути суттєво обмежена певними околами, визначеними сусідніми макрогрупами, оскільки малоімовірним є покращання розміщення конкретного елемента при суттєвих виходах за межі таких груп.

Досвід реального проектування показав, що жоден із виділених підходів не забезпечує отримання якісних результатів у випадку його самостійного використання. Найбільш раціональним вважаємо поєднання всіх цих методів в одному програмному пакеті, де вони взаємодіють так, щоб забезпечувати високу якість для найбільш доцільних для них умов використання. Розміщення реалізується спочатку у вигляді багаторівневої низхідної стратегії, де на кожному рівні виділяються групи сильнозв'язаних елементів, які апроксимуються точковими моделями, визначаються їх геометричні границі та вся площа конструктива розбивається на зони, в яких повинні бути розміщені відповідні групи елементів. На найнижчому рівні розміщуються групи з невеликого числа елементів – 8...12; використовуються конструктивні алгоритми нарощення; розміщення елементів оптимізується в межах виділених для них геометричних зон. Далі розміщення оптимізується за висхідною стратегією, визначеною декомпозицією п.2 (в зворотному ієрархічному напрямку). Узагальнений алгоритм можна подати так (рис. 1):

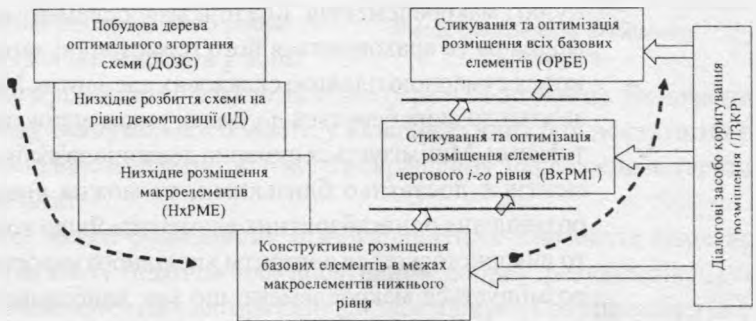


Рис. 1. Взаємодія основних процедур розміщення

1. Побудова дерева оптимального згортання схеми (ДОЗС) [2].
2. Ієрархічна декомпозиція схеми на рівні (ІД). Задача розв'язується низхідною стратегією. На основі побудованого дерева згортання виділяється декілька рівнів декомпозиції. Їх число вибирається так, щоб число складових макроелементів (груп дроблення нижчого рівня) для кожного макроелемента знаходилося у межах 8 – 12 або набувало незначно більшого значення. Доцільно виділяти такі перетини дерева згортання, для яких виділені підсхеми за розмірами (сумарною площею їх складових елементів) є близькими. Це сприятиме отримання кращого початкового розв'язку, оскільки для одногабаритних елементів розроблено алгоритми якісного розміщення.
3. Низхідне розміщення макроелементів. Мета – визначення геометричних зон можливого розміщення складових елементів для кожного макроелемента. Якщо для всіх макроелементів визначено їх геометричні зони, то переходять на п. 4. У протилежному випадку реалізують наступний нижчий рівень

розміщення. На кожному  $i$ -у рівні декомпозиції реалізується базова низхідна процедура розміщення макроелементів рівня (НхРМЕ), де виконуються наступні задачі:

- i) вибирається наступний макроелемент цього рівня розбиття та розміщуються його складові макроелементи нижчого рівня, тобто визначаються їх геометричні границі. Якщо вже складові макроелементи нижчого рівня всіх макроелементів цього рівня розміщені, то перехід на п. ii). У протилежному випадку реалізується процедура:
    - a) апроксимація виділених підсхем макроелементами. Внутрішні зв'язки між їх складовими елементами до уваги не беруться. Враховуються тільки зовнішні зв'язки  $E_1^{ex}$  з рештою макроелементів цього рівня розбиття, утворені на попередньому пункті, а також і зв'язки  $E_2^{ex}$  з зовнішніми макроелементами попереднього вищого рівня розбиття, що також підлягають дробленню на даному рівні. На першому найвищому кроці декомпозиції зовнішні зв'язки  $E_2^{ex} = \emptyset$ , тобто вони є відсутніми. У загальному випадку  $E_1^{ex} \cap E_2^{ex} \neq \emptyset$ .
    - b) розміщення (визначення геометричних зон) виділених на попередньому пункті макроелементів. Кожний макроелемент апроксимується точковою моделлю та враховуються його геометричні характеристики, які визначаються сумарною площею складових елементів. Макромоделі вищого рівня, зв'язки до яких беруться до уваги, також апроксимуються геометричними точками. Мінімізується сумарна довжина зв'язків. Якщо розміри макроелементів є достатньо близькими, то можна використати алгоритми для розміщення одногабаритних елементів. Якщо вони відрізняються суттєво, то використовується алгоритм висхідного нарощення. Наприклад, спершу розміщується макроелемент, що має найбільше число зв'язків з іншими макроелементами. Його можна розмістити у центрі. Черговим розміщується макроелемент, який має найбільше зв'язків з уже розміщеними. Макроелементи розміщуються "спіралеподібним" нарощенням.
    - c) оптимізація розміщення, отриманого на попередньому пункті, методом сканувальної області та точкового сканування у межах області даного макроелемента. Повернення на i).
  - ii) оптимізація розміщення всіх новоутворених макроелементів методами сканувальної області та точкового сканування на стиках макромоделей цього рівня.
  - iii) оптимізація розміщення всіх новоутворених макроелементів цього рівня методами сканувальної області та точкового сканування у межах всієї області. Повернення на п.3.
4. "Розкриття" на нижньому рівні декомпозиції макроелементів та розміщення базових елементів схеми у межах їх реальних геометричних зон. Важливим є порядок їх "розкриття". Вважаємо доцільно це робити "спіралеподібно", починаючи з макромоделі, яка знаходиться в центрі конструктива, або від примусово розміщених елементів. Утворюються макрогрупи з визначеним розміщенням кожного складового елемента та врахуванням його геометричних характеристик.

5. Оптимізація розміщення елементів в макрогрупах за висхідною стратегією, визначеною ієрархічною декомпозицією п. 2. Оптимізація здійснюється у два етапи – спочатку на "стиках" макрогруп, а потім у всій області, що розглядається.
6. На найвищому рівні здійснюється оптимізація розміщення всіх елементів як методом сканувальної області, так і точкового сканування.

На рис.2 показано вкладеність основних процедур алгоритму. Найнижчою є процедура розміщення базових елементів схеми. Важливим є така її реалізація, щоб забезпечити високі якість та швидкодію. Вона призначена для розміщення невеликого числа елементів конструктивними алгоритмами нарощення з подальшою оптимізацією розв'язку методами сканувальної області та точкового сканування. Сумарне число реалізацій цієї процедури дорівнює числу макроелементів на найнижчому рівні декомпозиції.

Кінцева оптимізація реалізується за два етапи. Спочатку оптимізується розміщення елементів на границях макромоделей попереднього рівня. На другому етапі виконується оптимізація у всій області, границі попереднього рівня ніби "стираються" (не беруться до уваги). Як показав досвід використання методу сканувальної області, у більшості випадків достатніми є дві ітерації. Наступні ітерації вже не дають суттєвого покращання, переважно четверта ітерація рідко змінює результат.

Складність основної задачі розміщення різногабаритних елементів вимагає спільного використання багатьох підходів для досягнення добрих результатів. Для розміщення одногабаритних елементів є алгоритми, що забезпечують отримання дуже добрих результатів навіть для задач високих розмірностей [3]. В зв'язку з цим доцільно ці переваги також використати в нашому випадку. Певні групи в реальних задачах складаються з елементів, що мають однакові або близькі габарити. Це, наприклад, можуть бути групи резисторів або мікросхем. Їх при ручному проектуванні зазвичай намагаються розмістити в одній компактній зоні, що збільшує щільність розміщення. У нашому випадку такі групи доцільно виділяти окремо та також розміщувати компактно. Тому для їх виділення доцільно розробити спеціальні процедури розпізнавання груп базових елементів, що мають близькі габарити. У зонах їх компактного розміщення доцільно застосувати такі високоефективні алгоритми оптимізації, як сканувальну область.

Дослідження алгоритму послідовного нарощування [4] показали, що він дає непогані результати для невеликої кількості елементів. Тому використання його в цьому алгоритмі є актуальним. Суть алгоритму полягає в послідовному розміщенні елементів відносно вже розміщених. Важливим є розміщення першого елемента і правило вибору наступних елементів для розміщення. Вибір наступного елемента відбувався на основі максимальної сумарної зв'язності з розміщеними елементами:

$$c_i = \sum_{\mu \in P_i} r_{ij}$$

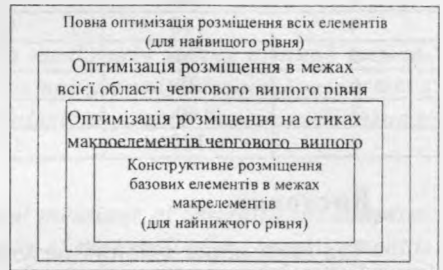


Рис.2. Вкладеність висхідного розміщення

де  $r_{ij}$  – зв'язність між елементами  $p_i$  та  $p_j$ ;  $P_k$  – множина елементів, розміщених на  $k$ -у рівні. Проведено тестування для 8 реальних конструктивів. В таблиці наведено порівняння результатів для алгоритмів послідовного нарощення (алгоритм 2) та комбінованого (алгоритм 1).

Результати тестувань

Номер конструктива	Кількість елементів	Значення критерію Алгоритм 2	Значення критерію Алгоритм 1	% покращення
1	155	511638	376217	26,5
2	186	2770300	2133079	23,0
3	160	3524228	2503124	28,9
4	118	986546	698297	29,2
5	94	637592	541179	15,1
6	28	198700	195180	0,02
7	49	407635	356173	12,6
8	149	1331797	1224241	8,1

## Висновки

Для отримання якісних результатів при автоматизованому розміщенні різногабаритних елементів доцільно поєднувати переваги багатьох алгоритмів. Для задач великих розмірностей добрі початкові розміщення дає метод ієрархічної декомпозиції з макромодельованням. Цим підходом забезпечується глобальна оптимізація у всій області конструктива, а також на окремих рівнях декомпозиції. Для покращання результатів необхідно використовувати набір ітераційних методів локальної оптимізації на кожному рівні декомпозиції, на границях макрогруп та для конструктива загалом. До таких алгоритмів в першу чергу необхідно віднести метод сканувальної області. Для підзадач невеликих розмірностей (8 – 12 елементів), зокрема для найнижчого рівня декомпозиції схеми, доцільно використовувати конструктивні алгоритми розміщення послідовним нарощенням. Якість кінцевого розміщення суттєво залежить від стратегій поєднання конструктивних та ітераційних алгоритмів, алгоритмів глобальної та локальної оптимізації. Для виходу з локальних екстремумів доцільно розробити додаткові алгоритми, які використовують "збурення" розв'язків з подальшим продовженням оптимізаційного процесу. Необхідним також є наявність ефективних діалогових засобів (ДЗКР), які забезпечують втручання в процес розв'язування задач з "примусовим" розміщенням або його коригування для певних базових елементів, наприклад, з великими габаритами; для вказання зон, де компактно розміщуються елементи з близькими значеннями параметрів, для оптимізації їх розміщення директивно виділеними алгоритмами.

1. Sadiq M.Sait, Habib Youssef. VLSI physical design automatic, Theory and practice. New York. IEEE Press, 1995.
2. Базилович Р.П. Декомпозиционные и топологические методы автоматизированного конструирования электронных устройств. – Львов: Изд-во при Львов. гос. ун-те, 1981. – 168с. 1.
3. Базилович Р.П. Ієрархічні кластеризація, декомпозиція та багаторівневе макромодельовання – ефективні засоби розв'язування комбінаторних задач схемного типу великої та надвеликої розмірності // Збірник наукових праць "Сучасні проблеми в комп'ютерних науках". – ДУ "Львівська політехніка", 2000. С. 15–30.
4. Щерб'юк І.Ф. "Особливості алгоритму низхідного ієрархічного розміщення." CADSM-2002. с. Славськo. 2002.