

Р. Базилевич<sup>1</sup>, В. Курейчик<sup>2</sup>, І. Щерб'юк<sup>1</sup><sup>1</sup>Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра програмного забезпечення;<sup>2</sup>Таганрозький технологічний інститут

## АЛГОРИТМИ ВИХОДУ З ЛОКАЛЬНИХ ЕКСТРЕМУМІВ У ЗАДАЧАХ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗМІЩЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОННИХ СХЕМ

© Базилевич Р., Курейчик В., Щерб'юк І., 2011

Досліджено вплив зміни алгоритмів у задачах оптимізації розміщення елементів електронних схем для виходу з локальних екстремумів. Продемонстровано застосування стратегії ітераційної зміни алгоритму точкового сканування зі зсувом елементів та алгоритму з їх парним обміном. Експерименти виконано на тест-задачі Стейнберга. Показано, що така зміна дає змогу покращити результати оптимізації розміщення.

**Ключові слова:** розміщення елементів, оптимізація, локальні екстремуми.

The effect of changing algorithms to escape from local extrema for electronic circuit placement optimization is investigated. To iterative change two algorithms were used: scanning point with exchange of elements' position and with elements' shifting. Experiments were performed on the Steinberg test-case. It is shown that such change can improve the optimization results.

**Keywords:** elements placement, optimization, escape from the local extrema.

### Вступ

У задачах оптимізації розміщення елементів електронних схем [1, 2] евристичними алгоритмами виникають ситуації, коли процес покращення значення критерію припиняється, і утворене розміщення елементів входить у деякий локальний оптимум. У різних місцях конструктивного вузла утворились сильнозв'язані групи елементів, які одним алгоритмом не вдається перегрупувати з подальшим покращенням значення критерію розміщення. Отримане розміщення може бути далеким від оптимального. Пошук шляхів продовження оптимізації з виходом з локального екстремуму вимагає спеціального вивчення.

Вийти з локального оптимуму можна різними шляхами: збуренням розв'язку, що реалізується оператором модифікації в еволюційних алгоритмах; зниженням температури за формулою Больцмана чи іншою, що дає змогу з деякою ймовірністю її підвищення та погіршенням значенням критерію в методі моделювання відпалу; зміною погоджених критеріїв оптимізації, продовженням оптимізації іншим алгоритмом. Почергова зміна алгоритмів оптимізації може здійснюватись декілька раз і тривати до припинення покращення значення критерію за кожним з вибраних алгоритмів.

Досліджено ефективність послідовної зміни двох алгоритмів оптимізації [3,4]: точкового сканування зі зсувом елементів (Алгоритм 1) та точкового сканування з парним обміном (Алгоритм 2) для виходу з локальних екстремумів. Експерименти виконувались на тест-задачі Стейнберга для 100 випадкових початкових розміщень.

### Опис алгоритмів

Вхідною інформацією для алгоритмів є: множина елементів  $P=\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ , матриця зв'язності між елементами  $R = \left\| r_{ij} \right\|_{n \times n}$  та множина позицій для розміщення елементів  $S=\{s_1, s_2, \dots, s_m\}$  ( $m \geq n$ ).

В алгоритмі 1 точкового сканування зі зсувом елементів для кожного елемента  $p_i$  серед всіх можливих позицій здійснюється пошук позиції іншого елемента  $p_j$  ( $j \neq i$ ), для якої при встановленні елемента в задану позицію зі зсувом інших елементів у звільнені області забезпечується найкраще значення критерію. Елемент  $p_i$ , що розміщується в позиції  $s_i$ , поміщається в позицію  $s_j$ , в якій розміщується елемент  $p_j$ . Для уникнення накладання елементів в позиції  $p_j$  відбувається зсув елементів у горизонтальному та вертикальному напрямках. Кожен елемент зсувається на одну суміжну позицію, яка звільнюється. Першим в позицію  $s_i$  встановлюється суміжний з нею елемент, далі на його місце встановлюється елемент, що розміщений біля нього і т.д. Зсув відбувається в напрямку позиції  $p_j$ . Можливими є декілька варіантів зсуву. В першому варіанті за початковий напрямок зсуву вибирається горизонтальний, у другому – вертикальний, можливим також є діагональний зсув. Для кожного варіанта обирається випадок з кращим значенням критерію. Процес обміну припиняється при відсутності покращення значення критерію. Особливістю цього алгоритму є те, що зі зростанням відстані між елементами  $p_i$  та  $p_j$ , збільшується кількість елементів, що змінюють свої позиції. Проте всі елементи, крім  $p_i$  та  $p_j$ , переміщуються тільки на одну позицію, що неістотно впливає на значення критерію.

У алгоритмі 2 точкового сканування з парним обміном для кожного елемента  $p_i$  пошук позиції іншого елемента  $p_j$  такий самий, як і в алгоритмі точкового сканування зі зсувом елементів. Особливістю алгоритму є обмін позиціями, в яких розміщені елементи  $p_i$  та  $p_j$ . Елемент  $p_i$  встановлюється в позицію елемента  $p_j$ , який, своєю чергою, розміщується в позицію елемента  $p_i$ . При такому обміні змінюються позиції тільки двох елементів. Проте, якщо між цими елементами була велика кількість зв'язків, то відповідна їм частка значення критерію не зміниться. Процес обміну припиняється за відсутності покращення значення критерію.

### Експериментальні дослідження

Можливості виходу з локальних екстремумів експериментально досліджено на тест-задачі Стейнберга [2]. Заданим є поле розмірністю  $m=36$  ( $4 \times 9$ ). Кількість елементів становить  $n=34$ . Матриця зв'язності між елементами зображена на рис. 1.

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	Всього					
1																																			170	12				
2																																					54	6		
3																																					64	5		
4																																					207	11		
5																																					138	10		
6																																					106	12		
7																																					314	19		
8																																					249	11		
9																																					83	6		
10																																					305	13		
11																																					481	16		
12																																					549	11		
13																																					486	22		
14																																					112	17		
15																																					109	15		
16																																					34	4		
17																																					40	1		
18																																					154	11		
19																																					116	13		
20																																					368	26		
21																																					80	7		
22																																					51	6		
23																																					86	7		
24																																					33	3		
25																																					93	5		
26																																					51	3		
27																																					74	12		
28																																					157	12		
29																																					79	8		
30																																					99	10		
31																																					3	13	54	7
32																																					18	24	106	8
33																																					20	61	7	
34																																						87	8	

① – кількість елементів, з якими зв'язаний елемент  $i$

Рис. 1. Матриця зв'язності  $R$  для тест-задачі Стейнберга

зі 100 сформованих випадкових розміщень. Це пояснюється малою ефективністю алгоритму 2 для виходу з локальних оптимумів, оскільки в цьому алгоритмі при кожній розглянутій ітерації одночасно змінюються позиції великої кількості елементів. Це у вже оптимізованому розміщенні не призводить до покращення значення критерію, оскільки значна частина цих елементів вже розміщена і знаходиться на своїх “добрих” місцях.

Для запропонованої стратегії виникають два способи її застосування. За першим способом спочатку розміщення оптимізується алгоритмом 2. Якщо значення критерію перестав покращуватись, то відбувається зміна алгоритму оптимізації, і подальша оптимізація здійснюється алгоритмом 1. У другому способі початкова оптимізація здійснюється алгоритмом 1, а потім відбувається перехід до алгоритму 2.

Як показали дослідження для першого способу, після оптимізації розміщення алгоритмом 2 зміна його на алгоритм 1 не дала покращення для жодного

Результати покращилися у випадку застосування другого способу, коли початкова оптимізація здійснювалась алгоритмом 1. Таблиця відображає ці результати. Введено такі позначення: № – номер розміщення сформованого випадковим чином; ВР – значення критерію для сформованого випадкового розміщення; А2 – значення критерію після багатокрокової оптимізації алгоритмом 2; А2/А1 – значення критерію після зміни алгоритму 1 на алгоритм 2 для оптимізації; % – відсоток покращення (погіршення) результату відносно розміщення виключно алгоритмом 2.

16	15	5	6	11	28	29	30	31
9	4	7	13	12	14	19	34	33
3	8	10	1	20	23	26	32	
17	18	2	22	21	27	25	24	

Рис. 2. Розміщення № 81

використанні тільки алгоритму 2 – 4219 (розміщення № 74). Середнє арифметичне значення критерію для 100 розміщень для запропонованої стратегії становило 4529, що загалом є краще, ніж під час оптимізації виключно алгоритмом 2.

Проаналізуємо результати, наведені в таблиці. При визначенні значення критерію використовувалась евклідова метрика [2]. Зі 100 спроб розміщень, оптимізованих виключно алгоритмом 2, застосування запропонованої стратегії у 54 випадках дало покращення значення критерію.

Найкраще значення критерію при використанні цієї стратегії становить 4186 (рис. 2), а при

№	ВР	А2	А2/А1	%	№	ВР	А2	А2/А1	%	№	ВР	А2	А2/А1	%	
1	7682	4427	4879	<b>10,2</b>	36	8422	4587	4299	<b>-6,3</b>	71	8976	4509	4464	<b>-1,0</b>	
2	9127	4368	4680	<b>7,1</b>	37	8959	4374	4446	<b>1,6</b>	72	8952	4614	4770	<b>3,4</b>	
3	8248	4490	4438	<b>-1,2</b>	38	10367	4798	4983	<b>3,9</b>	73	8763	4469	4757	<b>6,4</b>	
4	9288	4405	4684	<b>6,3</b>	39	9207	4576	4368	<b>-4,5</b>	74	8310	4219	4338	<b>2,8</b>	
5	10177	4736	4521	<b>-4,5</b>	40	9922	4951	4557	<b>-8,0</b>	75	9509	4432	4924	<b>11,1</b>	
6	8177	4356	4231	<b>-2,9</b>	41	8028	4614	4495	<b>-2,6</b>	76	9460	4462	4405	<b>-1,3</b>	
7	10071	4551	4590	<b>0,9</b>	42	9639	4667	4464	<b>-4,3</b>	77	9091	4590	4513	<b>-1,7</b>	
8	9113	4816	4820	<b>0,1</b>	43	9171	4550	4462	<b>-1,9</b>	78	10650	4600	4584	<b>-0,3</b>	
9	7450	4868	4494	<b>-7,7</b>	44	10363	4428	4469	<b>0,9</b>	79	9010	4316	4305	<b>-0,3</b>	
10	8396	4449	4485	<b>0,8</b>	45	8477	4904	4409	<b>-10,1</b>	80	8269	4793	5057	<b>5,5</b>	
11	9954	4372	4520	<b>3,4</b>	46	7224	4841	4509	<b>-6,9</b>	81	9310	4471	<b>4186</b>	<b>-6,4</b>	
12	9788	4759	4506	<b>-5,3</b>	47	7967	4866	4385	<b>-9,9</b>	82	8803	4480	4514	<b>0,8</b>	
13	10000	4430	4388	<b>-0,9</b>	48	10247	4526	4642	<b>2,6</b>	83	10075	4446	4450	<b>0,1</b>	
14	8981	4665	5134	<b>10,1</b>	49	9111	4395	4326	<b>-1,6</b>	84	10788	5010	4423	<b>-11,7</b>	
15	8031	4723	4716	<b>-0,1</b>	50	8668	4288	4458	<b>4,0</b>	85	9562	4259	4322	<b>1,5</b>	
16	10148	4460	4624	<b>3,7</b>	51	8533	4445	4847	<b>9,0</b>	86	10155	4464	4443	<b>-0,5</b>	
17	8837	4563	4312	<b>-5,5</b>	52	9736	4458	4348	<b>-2,5</b>	87	9419	4561	4365	<b>-4,3</b>	
18	9646	4418	4626	<b>4,7</b>	53	8324	4336	4572	<b>5,4</b>	88	8037	4309	4314	<b>0,1</b>	
19	9574	4834	4778	<b>-1,2</b>	54	8781	4545	4429	<b>-2,6</b>	89	8997	4808	4433	<b>-7,8</b>	
20	9014	4447	4574	<b>2,9</b>	55	9597	4442	4544	<b>2,3</b>	90	9465	4447	4822	<b>8,4</b>	
21	9480	4341	4428	<b>2,0</b>	56	9644	4551	4248	<b>-6,7</b>	91	8685	4484	4454	<b>-0,7</b>	
22	8770	4392	4433	<b>0,9</b>	57	8713	4510	4616	<b>2,4</b>	92	8148	4867	4847	<b>-0,4</b>	
23	9461	4282	4296	<b>0,3</b>	58	10044	4536	4589	<b>1,2</b>	93	9443	4897	4710	<b>-3,8</b>	
24	7637	4493	4571	<b>1,7</b>	59	8667	4279	4459	<b>4,2</b>	94	8700	4331	4621	<b>6,7</b>	
25	7836	4478	4359	<b>-2,7</b>	60	9091	4388	4341	<b>-1,1</b>	95	8013	4698	4733	<b>0,7</b>	
26	10402	4401	4610	<b>4,7</b>	61	10142	4577	4477	<b>-2,2</b>	96	6995	4534	4700	<b>3,7</b>	
27	9127	4493	4450	<b>-1,0</b>	62	9613	4448	4419	<b>-0,7</b>	97	8795	4640	4752	<b>2,4</b>	
28	9258	4257	4275	<b>0,4</b>	63	7997	4397	4616	<b>5,0</b>	98	9805	4780	4530	<b>-5,2</b>	
29	8240	4549	4430	<b>-2,6</b>	64	8823	4530	4572	<b>0,9</b>	99	10274	4689	4541	<b>-3,2</b>	
30	9735	4607	4469	<b>-3,0</b>	65	8314	4393	4460	<b>1,5</b>	100	10164	4698	4601	<b>-2,1</b>	
31	7963	4686	4345	<b>-7,3</b>	66	7713	4576	4528	<b>-1,0</b>	<b>Середнє</b>			<b>4538</b>	<b>4529</b>	<b>-0,2</b>
32	8214	4457	4534	<b>1,7</b>	67	9916	4747	4609	<b>-2,9</b>						
33	9013	4391	4452	<b>1,4</b>	68	8116	4496	4562	<b>1,5</b>						
34	9195	4361	4413	<b>1,2</b>	69	11655	4557	4508	<b>-1,1</b>						
35	8793	4442	4488	<b>1,0</b>	70	9047	4618	4461	<b>-3,4</b>						

Покращення результатів у деяких випадках пояснюється тим, що зі зміною алгоритмів змінюється послідовність дій процесу оптимізації, а отже, і порядок зміни позицій розміщених елементів, кожна з яких береться до уваги. На деякому кроці оптимізації утворюються нові варіанти поточного розміщення елементів, яких не було досягнуто при використанні попереднього алгоритму. Утворені варіанти можуть мати краще значення критерію, ніж було досягнуто при оптимізації попереднім алгоритмом. Так забезпечується вихід з локального оптимуму.

### **Висновки**

Проведені на тест-задачі Стейнберга дослідження підтвердили доцільність зміни алгоритмів оптимізації для виходу з локальних екстремумів. Тим не менше, покращання не можна вважати істотним. Це обумовлено тим, що при оптимізації довільним одним евристичним алгоритмом утворюються сильнозв'язані групи (кластери), які не вдається перегрупувати чи перемістити. У зв'язку з цим актуальним є продовження пошуку нових стратегій виходу з локальних екстремумів, в яких була б можливість виявлення таких об'єднань елементів та їх групового переміщення в нові позиції. Необхідним є застосування макромодельовання, зокрема ієрархічного, яке сприятиме багаторівневному уникненню локальних екстремумів. В інструментарії проєктанта необхідно мати декілька алгоритмів оптимізації та реалізувати їх ітераційну зміну для покращення поточних результатів розміщення. Доцільно також застосовувати зміну конкурентних у зоні компромісу Парето метрик для оптимізації отриманих одним алгоритмом результатів. Оскільки задача розміщення належить до важковирішуваних класу NP, знаходження оптимального розв'язку у випадку великої та надвеликої розмірності є проблематичним. Комплексне поєднання різних підходів для виходу з локальних екстремумів повинно наблизити кінцевий результат до оптимального.

*1. Базилевич Р.П. Декомпозиционные и топологические методы автоматизированного конструирования электронных устройств. – Львов: Вища школа, 1981. – 168 с. 2. Селютин В.А. Машинное конструирование электронных устройств. – М.: Сов. радио, 1977. – 383 с. 3. Базилевич Р.П., Щерб'юк І.Ф. Алгоритмические и программные средства для размещения разногабаритных элементов на конструктиве // Автоматизация проектирования дискретных систем (НАН Республики Беларусь). – Минск: Беларусь, 2007. – № 6. – С. 157–164. 4. Базилевич Р.П., Курейчик В.М., Щерб'юк І.Ф. Порівняння ефективності алгоритмів точкового сканування зі зсувом та точкового сканування з парним обміном для розміщення елементів // Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2010. – № 686.*