

виде хромосом). Декодирование, т.е. получение решения, осуществляется с помощью вышеописанной адаптивной процедуры.

Временная сложность адаптивной процедуры на одном шаге – $O(n)$. Сравнение с известными алгоритмами показало, что при меньшем времени работы новый алгоритм дает более качественные решения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Naveed Sherwani*. Algorithms for VLSI Physical Design Automation. Kluwer academic publishers. Boston /Dordrecht/ London. 1995.
2. *M. Sarrafzadeh and C. K. Wong*. An Introduction to VLSI Physical Design. New York: McGraw Hill. 1996.
3. *Деньдобренко Б.П., Малика А.С.* Автоматизация проектирования радиоэлектронной аппаратуры. – М., Высш. шк., 2002.
4. *J. Cong, C. Wu*, ‘Global Clustering-Based Performance-Driven Circuit Partitioning’, Proc. ISPD, 2002.
5. *L. Hagen and A. B. Kahng*, "Fast Spectral Methods for Ratio Cut Partitioning and Clustering," Proc. IEEE Intl. Conf. on Computer-Aided Design, 2001, pp. 10-13.
6. *Jan-Yang Chang, Yu-Chen Liu, and Ting-Chi Wang* “Faster and Better Spectral Algorithms for Multi-Way Partitioning”, ASPDAC 1999.
7. *G. Karypis*. *Multilevel hypergraph partitioning*. In J. Cong and J. Shinnerl, editors, Multilevel Optimization Methods for VLSI, chapter 6. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 2002.
8. *Yongseok Cheon, Seokjin Lee, Martin D. F. Wong*, “Stable Multiway Circuit Partitioning for ECO”, 2003
9. *Navaratnasothie Selvakkumaran and George Karypis*, “Multi-Objective Hypergraph Partitioning Algorithms for Cut and Maximum Subdomain Degree Minimization”, ICCAD 2003.
10. *Cristinel Ababei, Navaratnasothie Selvakkumaran, Kia Bazargan, George Karypis*, “Multi-objective Circuit Partitioning for Cutsizes and Path-Based Delay Minimization”, ICCAD 2002.
11. *Курейчик В.М., Курейчик В.В.* Генетический алгоритм разбиения графа. Известия Академии наук. Теория и системы управления, №4, 1999.
12. *C. Alpert and A. Kahng*. A hybrid multilevel/genetic approach for circuit partitioning. In Proceedings of the Fifth ACM/SIGDA Physical Design Workshop, pages 100-105, 2002.
13. *Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.Б.* Поисковая адаптация: теория и практика. – М.: Физматлит, 2006.
14. *Mazumder P., Rudnick E.* Genetic Algorithm For VLSI Design, Layout & Test Automation. India, Pearson Education, 2003
15. *Лебедев Б.К.* Адаптация в САПР: Монография. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1999.
16. *Лебедев Б.К.* Методы поисковой адаптации в задачах автоматизированного проектирования СБИС: Монография. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000.

УДК 681.3.001.63+007.52:611.81

А.Н. Дуккардт, Б.К. Лебедев

КОМПЛЕКСНЫЙ ГИБРИДНЫЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ РАЗБИЕНИЯ СХЕМ*

Задача разбиения. Неуклонное повышение степени интеграции СБИС привело к тому, что в них более 60% общей временной задержки сигнала приходится на задержки в межсоединениях. Рост размера области, отводимой для межсоеди-

* Работа выполнена при поддержке: РФФИ (гранты № 06-01-00272, № 08-01-00473), РНП 2.1.2.3193, РНП 2.1.2.2238.

нений, опережает рост размера области, предназначенной для активных элементов. Уменьшение общей временной задержки в схеме приводит к увеличению быстродействия, поэтому данное направление исследований и разработок является перспективным, поэтому в качестве одного из критериев была выбрана величина временной задержки.

Основными недостатками существующих методов разбиения с учетом временных задержек [6-9] являются:

- ◆ использование моделей задержек, неадекватных реальным физическим процессам, протекающим в кристалле [6-8];
- ◆ применение упрощений, которые приводят к увеличению погрешности в решении (например, схемы преобразовываются в вентили с двумя входами [9]).

В данной работе разработан алгоритм разбиения схем, который минимизирует число разрезов цепи C и величину оценки суммарной временной задержки D .

В работе применяется обобщенная функция оценки, отвечающая требованиям многокритериальной оптимизации:

$$F = p_1 \frac{C}{C_0} + p_2 \frac{D}{D_0}, \text{ где } p_1, p_2 \in [0,1], p_1 + p_2 = 1, \quad (1)$$

где p_1 и p_2 компоненты вектора предпочтения.

Итак, решаемая дискретная задача разбиения может быть сформулирована следующим образом.

Задача разбиения схемы состоит в отыскании такого разбиения k из множества возможных разбиений K некоторого гиперграфа H , представляющего модель схемы, при котором минимизируется некоторая величина F , являющаяся весовой функцией разбиения, и учитываются все поставленные в задаче ограничения.

Одним из параметров целевой функции F является количество рёбер, пересекающих разрез:

$$C = \{e_i \mid (\forall v)[e_i \cap X_v \neq e_i]\}. \quad (2)$$

Величина оценки задержки D в выражении (1) выражается комбинацией двух факторов, которые напрямую влияют на задержку схемы: задержка цепей, количество разрезов каждой цепи.

$$D = \sum_i^{E_k} \psi_i e_i + \sum_j^K D_j k_j, \quad (3)$$

где ψ_i – вес ребра; e_i коэффициент, принимающий значение 1 или 0, в зависимости от того разрезается ребро или нет; $|E_k|$ – количество ребер в гиперграфе H ; D_j – текущая задержка j -ой цепи(ребра); k_j – число разрезов цепи j .

Предлагаемая оценка задержки цепи D_j содержит два компонента. Первый – это задержка вентиля. Задержка вентиля считается постоянной и в дальнейшем не учитывается. Второй компонент – это задержка проводников, которая оценивается, используя модель задержки Эльмора для ребра e (ребро соответствует проводнику) в соответствии со следующей формулой:

$$D(e) = R_e \left(\frac{C_e}{2} + C_i \right), \quad (4)$$

где R_e – общее сопротивление проводника e ; C_e – общая емкость проводника e ; C_i – общая емкость истоков каждой цепи.

Для вычисления R_e и C_e нам необходимо длина каждого ребра. Оценка длины цепи [10], соединяющая m элементов определяется по формуле:

$$L_e = \sum_i (\alpha * m_{ij}^\gamma - \beta) \frac{a_i * b_i}{a_i + b_i} + (a_i + b_i), \quad (5)$$

где a_i и b_i – геометрические размеры узлов между которыми распределены элементы цепи; α , β , γ – настроечные параметры, вычисленные как $\alpha = 1.1$, $\beta = 2.0$, $\gamma = 0.5$. Удельное сопротивление на единицу длины проводника считаем $r = 0.115$, удельная емкость на единицу длины проводника $c = 0.00015$.

Стратегия поиска. В реальных условиях вместимость узлов (блоков) разбиения намного превосходит число элементов соединяемых одной цепью. Поэтому, если ребро назначается в узел целиком, то оно не попадает в разрез, что соответственно приводит к уменьшению числа внешних связей. Данный подход к решению поставленной задачи наиболее точно отражает ее специфику и учитывает критерий числа межмодульных связей. Однако при данном подходе не все ребра могут быть назначены целиком. Ребра, назначаемые последними, могут быть помещены в различные узлы. При этом существует вероятность того, что можно улучшить полученное решение путем незначительных изменений составов узлов. Такое изменение можно сделать путем перестановок вершин между узлами.

На основе приведенных рассуждений, в работе была выбрана стратегия поиска «Эволюция-Эволюция», обобщенная схема которой приведена на рис. 1.



Рис. 1. Обобщенная схема стратегии поиска «Эволюция-Эволюция»

ГА – генетический алгоритм с элементами альтернативного развития решений (решает задачу разбиения путем назначения гиперребер в узлы).

Миграция – производит выделение в полученной популяции лучших решений и передача их в качестве параметров на следующий шаг поиска

ГГА – гибридный генетический алгоритм, который производит улучшение полученных решений на предыдущем шаге путем случайных перестановок вершин между узлами. В данный алгоритм введен блок локального улучшения для увеличения скорости поиска, поэтому он и называется гибридным [2].

Кодирование. Данный подход к решению поставленной задачи разбиения требует разработки новых методов представления альтернативных решений, обеспечивающие гомологичность закодированных решений, что позволяет использовать модификации генетических операторов, близких к естественным.

Для первого генетического алгоритма предложен метод кодирования, задающий размещение гиперребер по узлам с помощью двух векторов P_1 и P_2 :

- ◆ P_1 – последовательность назначения ребер в узлы;
- ◆ P_2 – последовательность формирования узлов.

Эта методика кодирования учитывает специфику поставленной в работе задачи и подразумевает получение качественных (с точки зрения оценки) решений еще на стадии кодирования решения. Указанный факт объясняется большой вероятностью назначения всех вершин, инцидентных ребру, в один узел, что приводит к существенному уменьшению числа внешних связей.

Решение задачи представляется набором последовательностей, то есть являются мультихромосомными. Принцип кодирования и декодирования последовательностей рассмотрен в [4] и позволяет уменьшить поисковое пространство.

ГГА производит улучшение решений путем случайно направленных перестановок элементов (вершин) между узлами, что определяет необходимость знать

точный состав узлов. Это достигается путем кодирования решения в виде дихотомического дерева G [4].

Используемые в работе способы представления альтернативных решений требуют разработки новых генетических операторов. В модифицированном операторе кроссинговера заложен принцип многодетной семьи. Для этого введен динамический параметр n , регулирующий число потомков [1].

Структурная схема комплексного гибридного генетического алгоритма. Обобщенная структура комплексного гибридного генетического алгоритма (ГАЭАР) представлена на рис. 2. Рассмотрим более подробно блоки, входящие в структуру алгоритма.

Блок генерации начальной популяции – предназначен для создания начального множества (популяции) особей. Использование в процессе кодирования и декодирования решений нескольких опорных векторов вместо одного, позволяет реализовать в алгоритме набор виртуальных популяций, что, в свою очередь, позволяет распараллелить процесс генетического поиска.

Блок ГО – набор процедур, реализующих различные генетические операторы, использующие динамические параметры и предназначенные для формирования особей-потомков, отличающихся более высоким значением целевой функции по сравнению с родительскими особями.

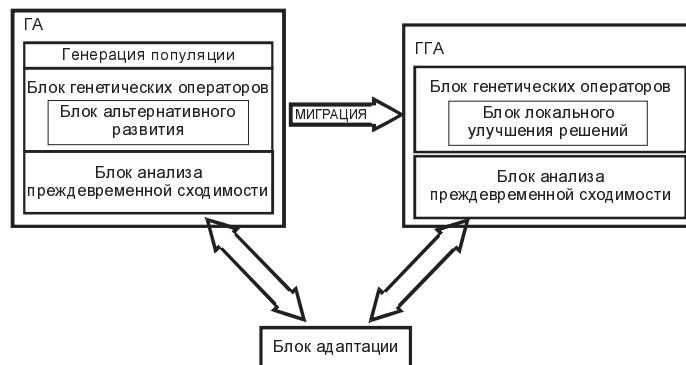


Рис. 2. Структурная схема комплексного гибридного генетического алгоритма

Блок локального улучшения решений – процедура, основанная на эвристике локальной оптимизации и методе моделирования отжига, которая предназначена для формирования нового решения, путем анализа текущей популяции, подпопуляции либо отдельных хромосом.

Процедуру локального улучшения можно разделить на 2 этапа:

1. «Выбивание» – из каждого узла(подмножества разбиения) выбирается по одной вершине пропорционально величине равной отношению числа внешних связей к числу внутренних. При выборе вершины она помещается в «буфер» и удаляется из узла [3].
2. «Перераспределение» – производит перераспределение выбранных на предыдущем этапе вершин в узлы пропорционально числу связей вершин с узлом [3].

Блок альтернативного развития особей – блок декодирования, полученных с помощью модифицированных генетических операторов, потомков альтернативными методами. Такой подход позволяет получить различные решения (фенотип), которые закодированы одним и тем же генетическим кодом. Следует отметить, что процесс декодирования разбит на два этапа: «предварительное» и «основное» де-

кодирование. Механизм виртуальных популяции действует на этапе «предварительного» декодирования, который заключается в преобразовании хромосом в соответствующие последовательности. Для имитации развития особи в различных условиях в алгоритм было введено несколько операторов декодирования генетического материала. Причем для большего соответствия естественным процессам была введена случайная величина n выбираемая из множества $\{1, 2, \dots, z\}$, где z – максимальное число применяемых операторов декодирования, которая определяет количество используемых операторов декодирования.

Алгоритм работы блока реализующего предложенный механизм:

1. На вход блока, реализующего предложенный механизм, подается особь, полученная после кроссинговера или мутации.
2. Вычисляется оценка величины n .
3. Копирование входящей особи n раз.
4. Для каждой копии особи вызывается свой ранее определенный оператор декодирования.
5. После декодирования производится оценка полученных решений.
6. Выбор одного лучшего решения.

В разработанном алгоритме используется два оператора декодирования:

- ◆ последовательного назначения гиперребер в узлы;
- ◆ оператор назначения гиперребер в узлы, основанный на реберной связности.

Блок Миграции – после завершения работы первого ГА производит выборку наиболее перспективных решений, из которых формирует исходную популяцию для ГГА путем их перекодирования.

Блок Адаптации – введен для увеличения скорости генетического поиска. На каждой итерации осуществляется анализ набора популяций, по результатам которого принимается решение о смене опорного вектора V_i , если в течение некоторого числа генераций в виртуальной популяции P_i не появляются индивидуальности с лучшим значением целевой функции.

Экспериментальные исследования. Произведено сравнение разработанного алгоритма с существующими аналогами решения задач разбиения схем.

На рис. 3, 4 приведены зависимости времени поиска и качества решения от количества вершин для различных стратегий поиска. Проанализировав графики можно сделать выводы, что при использовании стратегии «Эволюция-Эволюция» требуется в среднем на 50% больше процессорного времени, но в то же время, при этом алгоритм находит в среднем на 15,5% лучшее решение, чем при использовании поиска на основе стратегии «Эволюция». Приведенные практические результаты доказывают эффективность примененной стратегии поиска и выбор представления решения задачи разбиения.

В табл. 1, 2 приведены результаты сравнения разработанного алгоритма с аналогами – PurehMetis [6], Net&PathBased [10], PPF [9], VPR [9]. Алгоритмы сравнивались по качеству получаемого решения (D – величина оценки временной задержки, Cut – количество ребер в разрезе) и по времени работы алгоритма. В табл. 2 приведены усредненные данные, так как на каждом тесте было проведено по 33 запуска. На рис. 5-7 приведены результаты сравнений из табл. 2.

Из приведенных данных можно сделать вывод, что разработанный алгоритм позволяет находить решения, не уступающие по качеству, а иногда и превосходящие результаты, полученные с использованием других алгоритмов. При этом время, затраченное на поиск решения, меньше в среднем на 15%.

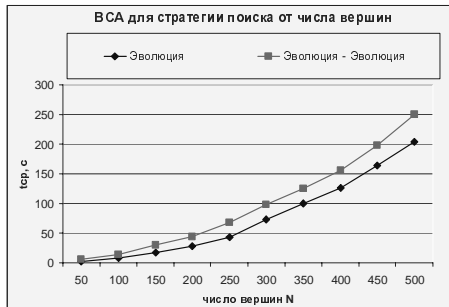


Рис. 3. Зависимость среднего времени поиска для стратегий поиска

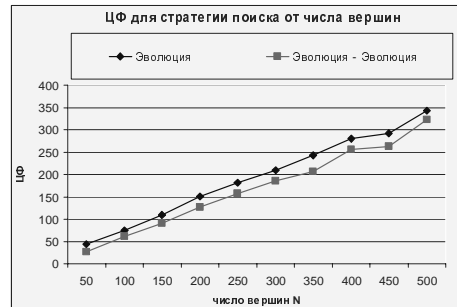


Рис. 4. Зависимость среднего значения ЦФ для стратегий поиска

Таблица 1

Описание тестовых схем

Circuit	cordic	misex3	X3	c6288	s15850	frisc	elliptic
P/PO	23/2	14/14	135/99	32/32	39/75	19/16	130/112
No. of gates	881	1349	1369	2435	4321	4400	4711

Таблица 2

Результаты вычислительных экспериментов

		Cordic	misex3	X3	c6288	s15850	Frisc	Elliptic
Pure hMetis	D.	21,9	67,6	18,78	59,21	81,14	169,33	271,02
	Cut	327	543	211	182	617	838	508
	CPU(s)	2	5	4	31	28	34	16
Net&Path Based	D.	16,41	61,16	16,65	56,26	78,93	150,2	205,25
	Cut	278	614	261	216	671	869	619
	CPU(s)	5	13	6	80	37	61	22
PPFF	D.	20,6	64,3	16,04	59,19	82,1	165,17	231,33
	Cut	313	540	228	201	615	851	510
	CPU(s)	6	14	8	79	43	66	25
VPR	D.	21,5	64,3	17,04	60,01	80,73	167,2	233,02
	Cut	319	543	216	204	622	843	513
	CPU(s)	10	18	13	85	47	71	27
ГАЭАР	D.	15,93	60,7	17,05	56,26	77,01	153,3	204,97
	Cut	280	610	253	209	651	842	567
	CPU(s)	4	14	6	73	31	49	17

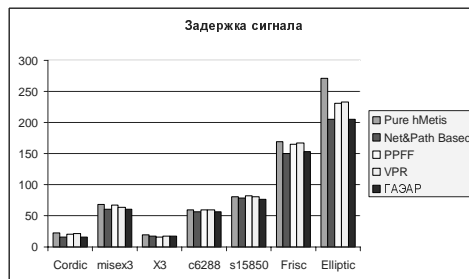


Рис. 5. Результаты сравнений по критерию «временная задержка»

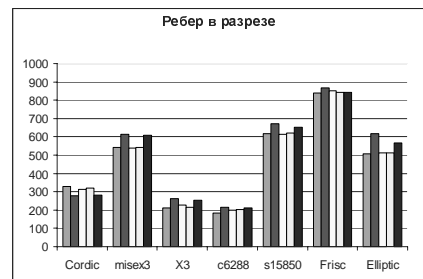


Рис. 6. Результаты сравнений по критерию «число межмодульных соединений»

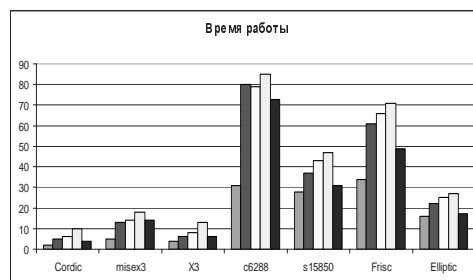


Рис. 7. Результаты сравнений по времени выполнения

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дужкардт А.Н. Методы Генетического поиска для мультихромосомных представлений // VII Всероссийская научная конференция студентов и аспирантов «Техническая кибернетика, радиоэлектроника, и системы управления». – Таганрог, 2004. – С. 108.
2. Дужкардт А.Н., Лебедев Б.К. Разбиение на основе комбинированных генетических процедур // Известия ТРТУ. Тематический выпуск "Интеллектуальные САПР". – Таганрог: Изд-во ТРТУ, № 8, 2006. – С. 46-51.
3. Дужкардт А.Н. Решение задачи разбиения на основе процедуры «Выбивания» // Известия ТРТУ. Тематический выпуск "Интеллектуальные САПР". – Таганрог: Изд-во ТРТУ, № 6, 2006. – С. 63-66.
4. Лебедев Б.К. Методы поисковой адаптации в задачах автоматизированного проектирования СБИС: Монография. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. – 192 с.
5. Alpert C.J. et all. Hypergraph Partitioning with Fixed Vertices // V.19, №2, February 2002, pp. 267 – 271.
6. Navaratnasothie, Selvakkumaran, Kia Bazargan, George Karypis. Multi-objective Circuit Partitioning for Cutsizes and Path-Based Delay Minimization. ICCAD 2002
7. J. Cong, C. Wu, 'Global Clustering-Based Performance-Driven Circuit Partitioning', Proc. ISPD, 2002.
8. J. Minami, T. Koide, S. Wakabayashi, 'An Iterative Improvement Circuit Partitioning Algorithm under Path Delay Constraints', IEICE Trans. Fundamentals, Dec. 2000.
9. S.-L. Ou, M. Pedram, 'Timing-driven Partitioning Using Iterative Quadratic Programming', at <http://atrk.usc.edu/~massoud/>, see "Coming Attractions!", 2001.
10. P. Zarkesh-Ha, J.A. Davis, J.D. Meindl, 'Prediction of Net-Length Distribution for Global Interconnects in a Heterogeneous System-on-a-Chip', IEEE Trans. VLSI Systems, Dec. 2000

УДК 681.3.001.63

О.А. Мелихова, З.А. Мелихова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В СИСТЕМАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Трудности, возникающие при управлении сложными техническими процессами, в частности, прогнозирование текущего состояния и оптимизации управления процессом, вызывают необходимость искать новые методы решения задач на стыке дисциплин: теории вероятности и математической статистики, теории эволюции и генетики, комбинаторики и нелинейной динамики. Число параметров некоторых объектов управления достигает порядка 10^3 , 10^4 , что влияет на размерность решаемой задачи и вызывает существенные ограничения на пути применения строго математических методов экстраполяции.