

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горячев А. В. Подсистема управления проектами в САПР // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010. Вып. 6. С. 41–46.
2. Горячев А. В., Новакова Н. Е. Управление знаниями в проектной деятельности. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012.
3. Хубка В. Теория технических систем / Пер. с нем. М.: Мир, 1987.
4. Сольнищев Р. И. Автоматизация проектирования САУ. М.: Высш. шк., 1991.
5. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002.
6. Joshikawa H. General design theory and artificial intelligence // Artificial Intelligence in Manufacturing. Key to Integration. 1987. P. 35–61.
7. Стрельников Ю. Н. Обобщение типовых проектных процедур, выполняемых в САПР // Автоматизированное проектирование в радиоэлектронике и приборостроении: Межвуз. сб. науч. тр. / Ленингр. электро-техн. ин-т им. В. И. Ульянова (Ленина). Л., 1989. С. 11–17.
8. Новакова Н. Е. Модели и методы принятия проектных решений в сложноструктурированных предметных областях. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010.
9. Новакова Н. Е. Онтология управления знаниями в проектной деятельности // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. «Информатика, управление и компьютерные технологии». 2006. Вып. 3. С. 8–15.
10. Васильев А. А., Горячев А. В. Адаптация корпоративного портала к работе с проектными документами. // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2012. Вып. 1. С. 29–34.

A. A. Vasiliev, A. A. Goryachev, A. V. Goryachev, A. V. Monakhov, N. E. Novakova

APPLIANCE OF PROJECT MANAGEMENT METHODOLOGY IN COMPUTER-AIDED DESIGN

The paper is dedicated to the usage of project management methodology in computer-aided design process. Special tools are introduced, their usage in computer-aided design is validated.

Computer-aided design process, project management, design process modeling

УДК 519.687.4;519.853.4; 519.622.2

А. С. Писарев

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЭВРИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ

Рассматривается разработка информационной системы для решения многоэкстремальных задач с применением эвристических методов глобальной оптимизации, многоагентных технологий и облачных вычислений.

Нечеткая многокритериальная задача оптимизации, многоагентные системы

Численные методы решения оптимизационных задач применяются при проектировании систем и процессов в различных предметных областях (техники, информационных, вычислительных, управляющих систем, экономики, физики, биологии, генетики, химических технологий, биотехнологий, нанотехнологий и др.) в ситуациях, когда из нескольких возможных решений необходимо выбрать наилучшее в соответствии с критериями и ограничениями.

В ряде случаев оптимизационные задачи характеризуются наличием множества локальных экстремумов, нелинейностей, разнородных параметров (бинарных, целочисленных, вещественных, интервальных), неполнотой информации, большой размерностью. Для их решения применяются методы глобальной оптимизации с эвристическими стратегиями: эволюционные (Evolutionary) и генетические (Genetic) алгоритмы, алгоритмы роя (Particle swarm optimization) и колонии муравьев (Ant Colony optimization), алгоритм отжига (Simulated annealing), случайного поиска (Random optimization) и др.

В статье приводится нечеткая многокритериальная постановка задачи оптимизации [1]. Разработан метод решения задач глобальной оптимизации в нечеткой многокритериальной ε -оптимальной постановке с применением эвристических стратегий. Метод реализован в инструментальном комплексе с использованием технологий многоагентных систем и параллельных вычислений в облачной среде.

Постановка задачи. Задача поиска глобального экстремума функций $f_i(x)$, зависящих от вектора переменных $X = \{x_1, \dots, x_j, \dots, x_n\}$, формулируется в многокритериальной нечеткой ε -оптимальной постановке: найти значение вектора $X^* = \{x_1^*, \dots, x_j^*, \dots, x_n^*\}$, которое минимизирует аддитивную свертку целевых функций $f_i(x)$ при выполнении условий ограничений с заданной точностью ε :

$$X^* = \arg(\min_{X \in C} \{ \sum_i \alpha_i R_i(X) + \sum_j \beta_j S_j(X) \}), \quad (1)$$

где $R_i(X) = \sigma_{\#}(f_i(X))$ – критерии; $S_j(X) = \sigma_{\phi}(g_j(X))$, $j = 1, \dots, m$ – ограничения задачи; $\sum_i \alpha_i + \sum_j \beta_j = 1$ – весовые коэффициенты важности; $\sigma_{\#}(f_i(X))$ – функция, нормализованная в интервале $[0, 1]$; $\sigma_{\phi}(g_j(X))$ – штрафная функция; $C_j = \{X \mid g_j(X) \phi 0\}$ – область допустимых значений X , при которых выполняется ограничение g_j ; $\phi = \{\leq, \geq, =, \neq, >, <\}$ – операции.

Функция σ_{ϕ} может быть представлена с помощью нормальной функции принадлежности μ дополнения нечеткого множества решений:

$$\sigma_{\phi}(g_j(X)) = 1 - \mu(g_j(X)).$$

Например, сигмоидная функция штрафа для ограничений $\phi = \{\leq\}$ имеет вид

$$\sigma_{\leq} = \begin{pmatrix} 2 \left[1 / (1 + e^{(-g/z)}) \right] - 1 \mid_{g_j > \varepsilon_j} \\ 0 \mid_{g_j \leq \varepsilon_j} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где z – параметр экспоненциальной сигмоиды; ε_j – заданная точность.

Обобщенная постановка нечеткой многокритериальной задачи может быть также применена для решения задач в четкой постановке при модификации штрафной функции (2) в ступенчатую функцию.

Метод. При решении задачи в форме (1) применяется несколько эвристик. Для формирования значений коэффициентов важности используется метод парных сравнений. В случае отсутствия предпочтений все весовые коэффициенты принимают одинаковые значения. При конструировании функций принадлежности также применяются эвристические методы. Эвристические стратегии используются в методах глобальной оптимизации.

Метод глобальной оптимизации также используется при идентификации параметров моделей динамики системы по заданным траекториям движения и решению обратных задач динамики.

Метод включает процедуру поиска значения вектора параметров X^* , обеспечивающего минимизацию K – критерия качества реконструкции модели с $\sigma_{\#}$ в виде среднеквадратической разности между модельными данными и заданными траекториями движения или функций принадлежности (обобщенной колоколообразной (generalized bell membership function – gbellmf) функции, сигмоидной функции и др.). Модельные данные вычисляются в блоке прямой задачи, определяющем следствия Φ_c (данные в моменты времени $t > t_0$) на основе причин Φ_n (данные в момент времени t_0) и модели T с параметрами X . Для модели T в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) применяется метод Рунге–Кутты.

Реализация. Рассмотренный метод был реализован на языке Java в составе программного комплекса Genbu для решения многокритериальных экстремальных задач в нечеткой постановке (1) и решения обратных задач динамики. Разработана библиотека типовых штрафных функций. Формально описать проблему можно на языках JavaScript, Java или C. Реализация описания на языке C обеспечивает наименьшее время вычислений, поскольку основная доля затрат приходится обычно на решение прямой задачи расчета значений функционала и ограничений.

Развитие программного комплекса Genbu осуществляется в соответствии с концепцией архитектуры сетевой системы моделирования, создающей среду решения задачи математического программирования [2]–[4].

Например, в [2] предложена концепция и на ее основе реализована многоагентная система для обработки, анализа, визуализации данных и численного моделирования в режиме online в рамках проекта ESTEDI по созданию пространственно-временной инфраструктуры высокопроизводительных вычислений в Европе. В дальнейшем эта концепция была расширена для поддержки веб-сервисов и веб-интерфейсов в составе адаптивной сервисной киберинфраструктуры e-СИМБИОС в области молекулярной биологии и нанобиотехнологий [4].

Под адаптивной киберинфраструктурой с элементами самоорганизации понимается многоагентная система, интегрированная с гетерогенными облачными системами распределенных вычислений и хранения данных, способная совершенствовать свою структуру и алгоритмы функционирования без непосредственного участия человека для скоординированного достижения поставленных целей в условиях неопределенной и динамично изменяющейся среды.

При разработке e-СИМБИОС были сформированы методология и технология создания адаптивной многоагентной киберинфраструктуры с элементами самоорганизации для распределенной обработки изображений и компьютерного моделирования в области постгеномной системной биологии.

Многоагентная информационная система на основе e-СИМБИОС и FlyEx включает: агенты распределенной обработки и анализа (OLAP– On Line Analytical Processing), агенты координации взаимодействий (CA – Coordination Agent), агенты доступа к базам данных (DBA – Data Base Agent), сервер загрузки данных (DS – Download Server), серверы обработки изображений (ISA – Image Server Agent), агенты интерфейса пользователей (UIA – User Interface Agent, NLP – Natural Language Processing), адаптеры протоколов (XML/RPC, SOA, REST).

Информация об агентах и их функциях содержится в базе данных агента координации взаимодействий (СА). Для обеспечения актуальности информации о конфигурации системы все агенты регистрируются у СА, уведомляют СА о плановом отключении, при обнаружении нефункциональности сервисов контрагентов обновляют информацию о конфигурации системы передачей сообщений СА об изменениях текущей нагрузки, СА выполняет мониторинг функциональности системы и уведомляет зарегистрированных агентов об изменениях в конфигурации системы посылкой сообщений по протоколу HTTP, а администратора системы – по e-mail или SMS.

Взаимодействие агентов не является статическим, а динамически реорганизуется и обеспечивает самореконфигурацию системы. Это свойство позволяет расширять функциональность системы в процессе работы и повышать эффективность ее использования.

При интеграции разнородных информационных и вычислительных ресурсов в качестве основных были применены технологические подходы REST и SOA. При распределенном выполнении сложных сценариев с высокой степенью параллелизма применяется передача сообщений между агентами с логическими указателями на данные, что позволяет повысить производительность обработки изображений и данных.

Для повышения эффективности вычислений и снижения затрат на решение экстремальных задач предусматривается функциональное расширение e-СИМБИОС агентами, решающими задачи (ASP – Agent Solving Problems), и программными средствами GenBy. Система должна позволять одновременно решать несколько задач и осуществлять масштабирование в автоматическом режиме при изменении нагрузки (числа пользователей). Постановка задачи оптимизации сохраняется в форме мобильной программы, которая может передаваться по сети между агентами. Агент-координатор формирует задания для сообщества программных агентов, накапливает и обрабатывает полученные результаты с применением эвристических стратегий, после чего формирует новые задания для агентов.

Применение многоагентных и облачных технологий в системе глобальной оптимизации Genby предназначено для поддержки междисциплинарных исследований, снижения затрат на освоение и повышения эффективности решения различных классов экстремальных задач:

- облачный сервис доступен через веб-браузер или прикладной программный интерфейс (API – Application Program Interface);
- не требуется изменять архитектуру информационно-вычислительной системы организации для использования сервиса;
- требуется не более 10 мин для настройки сервиса;
- возможна работа на нескольких операционных системах;
- не требуется установка дополнительного программного обеспечения для его использования.

Результаты. Метод глобальной оптимизации и инструментальные средства прошли апробацию на ряде тестовых задач поиска экстремума функции одной и нескольких переменных, линейного, целочисленного, квадратичного и нелинейного, а также частично целочисленного нелинейного программирования, преобразованных в постановку задачи в форме (1). Метод и программные средства также были применены к решению тестовых задач глобальной оптимизации.

Для примера частично целочисленной нелинейной задачи:

$$f(x) = x_1 \rightarrow \min,$$

$$g_1(X) = (x_1 - 5)^2 + 2(x_2 - 5)^2 + (x_3 - 5)^2 \leq 18,$$

$$g_2(X) = 100 - (x_1 + 7 - 2x_2)^2 - 4(2x_1 + x_2 - 11)^2 - 5(x_3 - 5)^2 \leq 0$$

был получен сопоставимый по точности с [5] результат при $\varepsilon = 0.001$: $f(x) = 1.000$ при $X = \{1.000, 3.999, 5.009\}$ и в целочисленной постановке $f(x) = 1$ при $X = \{1, 4, 5\}$.

В некоторых практических ситуациях, связанных, например, с задачами оптимального проектирования, целевые функционалы или их аппроксимации имеют стандартную сигномиальную структуру [6]:

$$f(X) = \sum_{i=1}^k c_i x_1^{\alpha_{i1}} x_2^{\alpha_{i2}} \dots x_n^{\alpha_{in}},$$

$$\alpha_{ij} \in R^1, x_j > 0, j \in [1:n].$$

Для примера задачи с сигномиальной (signomial) функцией ограничения:

$$f(X) = x_2 - 3x_1,$$

$$g_1(X) = x_2 + 5x_1 \leq 36,$$

$$g_2(X) = -x_2 + 0.25x_1 \leq -1,$$

$$g_3(X) = (2x_2^2 - 2x_2^{0.5} + 11x_2 + 8x_1 - 39) -$$

$$- 2x_1^{0.5} x_2^2 + 0.1x_1^{1.5} x_2^{1.5} \leq 0,$$

$$g_4(X) = x_1 \geq 1, g_5(X) = x_1 \leq 7,$$

$$g_6(X) = x_2 \geq 1, g_7(X) = x_2 \leq 7, x_2 - \text{int}$$

получено решение $X = \{6.0, 6\}$ для глобального минимума $f(x) = -12$ [7].

В качестве тестов применения метода нечеткой глобальной оптимизации и разработанного программного комплекса в решении обратных задач динамики были использованы модели в виде дифференциальных уравнений.

Для моделирования динамики экспрессии генов pair-rule были использованы экспериментально полученные и обработанные данные о пространственно-временной (spatial temporal) экспрессии генов дрозофилы дикого типа из базы данных FlyEx [8], относящиеся к 5-й стадии развития (cleavage cycle 14A), 10 %-й D-V-полосе и области 27...70 % оси А-Р. В качестве математической модели использовалась система обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих процессы эмбрионального развития дрозофилы, включающих синтез продуктов генов и взаимную регуляцию генов, диффузию и распад продуктов генов [7]:

$$\frac{dv_i^a}{dt} = R^a g \left(\sum_{b=1}^N T^{ab} v_i^b + m^a v_i^{Bcd} + h^a \right) + D^a(n) \left[(v_{i-1}^a - v_i^a) + (v_{i+1}^a - v_i^a) \right] - \lambda^a v_i^a,$$

$$g(u^a) = \frac{1}{2} \left[\left(u^a / \sqrt{(u^a)^2 + 1} \right) + 1 \right],$$

$$u^a = \sum_{b=1}^N T^{ab} v_i^b + m^a v_i^{bcd} + h^a,$$

$$E = \alpha_1 \sum \left(v_i^a(t)_{\text{model}} - v_i^a(t)_{\text{data}} \right)^2 + \beta E_{\text{penalty}} + \alpha_2 E_{\text{chaos}}.$$

Состояние i -го ядра определяется набором v_i концентраций факторов, кодируемых генами с индексами a , и зависит от процессов синтеза, диффузии и распада белка; T^{ab} – матрица коэффициентов регуляторных взаимодействий генов.

Для нахождения параметров модели применялся метод решения обратных задач динамики систем. Параметры взаимной регуляция генов *pair-rule* *eve*, *h*, *run*, *ftz*, *odd* определялись с учетом данных о экспрессии генов *bcd*, *cad*, *hb*, *Kr*, *gt*, *kni*, *tll*, которые использовались в модели в качестве входов. В качестве функционала оптимизационной задачи использовался квадрат разности между экспериментальными данными (E), описывающими динамику экспрессии генов, и модельными данными, формируемыми в процессе решения обратной задачи динамики.

Были проведены численные эксперименты с модифицированным функционалом, содержащим логические выражения эвристического критерия анализа моделирования (ЭКАМ/CHAOS) и дополнительно учитывающим штрафы за отклонения модельных решений от обобщенной картины временной экспрессии генов (*time series*). Обобщенная по 10 %-й полосе оси А-Р картина экспрессии генов получена вычислением определенного интеграла по пространственной координате А-Р для каждого массива пространственно-временных данных в диапазоне временных классов. Полученные данные условно названы дважды интегрированными данными (*double integrated data*).

С помощью метода решающих деревьев [9] была сформирована модель классификации временного класса (*time class*) по значениям экспрессии генов в дважды интегрированных данных. Для реализации дополнительного критерия ЭКАМ были автоматически сгенерированы правила в виде «если ... то ...» на языках *C*, *Java*, *JavaScript*. Для повышения технологического уровня процесса решения обратных задач был также разработан интерпретатор псевдокода решающих деревьев и добавлены процедуры, связанные с вычислением дважды интегрированных данных по решениям модели.

Принцип применения критерия ЭКАМ заключается в вычислении на каждом шаге моделирования решений – массивов со значениями динамики экспрессии генов и классификации полученного решения на каждом временном интервале (*time class*). Наилучшими считаются решения, которые не только имеют наибольшее соответствие экспериментальным данным по среднеквадратичному критерию (*Root Mean Square – RMS*), но и соответствуют обобщенной динамике по критерию ЭКАМ.

В результате численных экспериментов были получены решения для случаев с немодифицированным и модифицированным при помощи критерия ЭКАМ функционалами. Пример реконструкции экспрессии гена *h* группы *pair-rule* в 10 %-й D-V-полосе приведен на рис. 1, на котором показаны h^* – экспериментальные данные картины экспрессии гена и h – данные, реконструированные на основе полученных решений обратной задачи динамики с помощью модифицированного (*a*) и немодифицированного (*b*) функционалов.

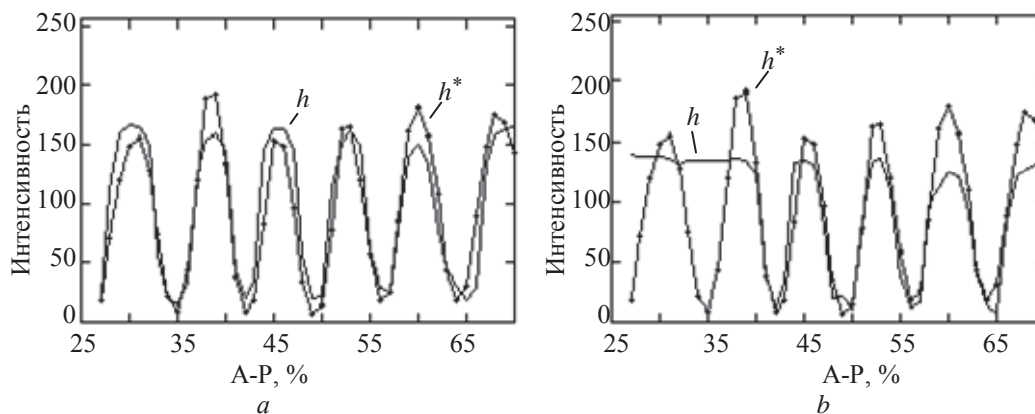


Рис. 1

Ось ординат соответствует интенсивности экспрессии гена в диапазоне 0...255. Ось абсцисс (A-P) соответствует области 27...70 % длины эмбриона. При одинаковых прочих условиях функционал решения (а), полученного с помощью дополнительного критерия ЭКАМ, меньше значения немодифицированного функционала решения (б) приблизительно в 2 раза.

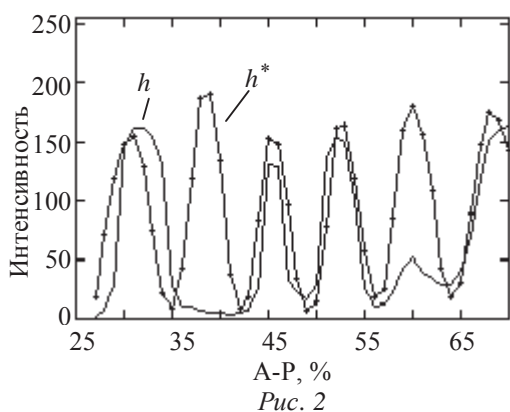


Рис. 2

Прогностические свойства полученной модели генной сети pair-rule для эмбрионов дикого типа были проверены методом решения прямых задач динамики для эмбрионов, мутантных по гену *eve*-. На рис. 2 приведены примеры экспрессии гена *h* в эмбрионе дикого типа [8] и реконструкция экспрессии в эмбрионе, мутантном по гену *eve*-. Реконструкция экспрессии гена *h* выполнена методом решения прямой задачи динамики с измененной моделью генной сети генов pair-rule, в которой были удалены (switch off) воздействия гена *eve* на гены *h*, *ftz*, *run* и *odd*.

Результаты реконструкции согласуются с известными данными [10]: экспрессия гена *hairy* (*h*) характеризуется сильным эффектом снижения интенсивности во второй полосе в эмбрионах, мутантных по гену *eve*.

Таким образом, в результате проведенных исследований получены следующие результаты:

- разработан метод решения задач глобальной оптимизации в нечеткой многокритериальной ϵ -оптимальной постановке с применением эвристических стратегий;
- проведена апробация метода при решении задач математического программирования и получены сопоставимые или превосходящие результаты;
- разработан новый метод решения обратной задачи динамики морфогенеза (экспрессии генов pair-rule) с использованием критерия эвристического анализа симуляций (ЭКАМ), который позволил улучшить значение функционала решения обратной задачи динамики;
- применение многоагентных и облачных технологий в системе глобальной оптимизации Genby обеспечивает поддержку междисциплинарных исследований, снижение затрат на освоение и повышение эффективности решения различных классов экстремальных задач.

Работа выполнена при частичной поддержке Государственного контракта № 14.740.11.0166, Гранта РФФИ 11-04-01162.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир, 1976.
2. Mooshka: A system for the management of multidimensional gene expression data in situ / A. Pisarev, E. Pustelnikova, M. Samsonova, P. Bauman // Information Systems. 2003. Vol. 28, № 4. P. 269–285.
3. A system for on-line processing and analysis of images of gene expression patterns. Pattern Recognition and Image / A. Pisarev, M. Blagov, E. Pustelnikova, E. Myasnikova, M. Samsonova // Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications. 2005. Vol. 15, № 2. P. 428–431.
4. Писарев А. С. Многоагентная P2P GRID-инфраструктура для развития нанобиотехнологий // Изв. Южного федерального ун-та. Технические науки. 2008. № 5. С. 209–213.
5. Евтушенко Ю. Г., Посыпкин М. А. Применение метода неравномерных покрытий для глобальной оптимизации частично целочисленных нелинейных задач // Журн. вычислительной математики и математической физики. 2011. Т. 51, № 8. С. 1376–1389.
6. Писарев А. С. Применение многоагентных технологий и эвристических методов в задачах нечеткой многокритериальной оптимизации // Материалы конф. «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2012), 2012. С. 233.
7. Писарев А. С. Применение эвристических методов в решении прямых и обратных задач // SCM-2012 Saint-Petersburg, 25–27 June 2012.
8. FlyEx, the quantitative atlas on segmentation gene expression at cellular resolution / A. Pisarev, E. Pustelnikova, M. Samsonova, J. Reinitz // Nucl. Acids Res. 2009. 37. P. 560–566.
9. Технологии анализа данных. Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. 2-е изд. СПб.: БХВ-С.-Петербург, 2007.
10. Pisarev A., Samsonova M. A method for solution of the multi-objective inverse problems under uncertainty // Biofizika(Rus). 2013. № 2 (58). С. 221–232.

A. S. Pisarev

APPLICATION OF THE MULTIAGENT TECHNOLOGIES AND HEURISTIC METHODS IN OPTIMIZATION PROBLEMS

Development of information system for the solution of global optimization problems with application of heuristic methods, multiagent technologies and cloud computing is considered.

Optimization problem, multiagent systems

УДК 621.3.049.77.001.2

С. Э. Миронов, А. О. Менько, Н. М. Сафьянников

ОСОБЫЕ СИТУАЦИИ ПРИ СЖАТИИ ТОПОЛОГИИ ФРАГМЕНТОВ СБИС С ИЗМЕНЕНИЕМ ФОРМЫ ТРАНЗИСТОРОВ

Описаны способы борьбы с чрезмерным изменением электрических характеристик схем при сжатии топологии с изменением формы транзисторов, обеспечивающим предельно плотную упаковку топологии фрагментов СБИС.

Технологически инвариантное проектирование топологии, изменение формы транзисторов, автоматизация

Изменение формы элементов при сжатии топологии. Наибольшая плотность упаковки топологии интегральных схем (одно из основных требований, предъявляемых к микроэлектронным проектам) достигается, когда в процессе ее обработки системами сжатия (минимизирующими расстояние между элементами в соответствии с проектными нормами и задаваемыми разработчиком ограничениями на расположение отдельных частей