

ПРОБЛЕМИ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ

І ПРИКЛАДНИХ НАУК

PROBLEMS OF BASIC AND APPLIED SCIENCES

УДК 517.972.8

А.Л. Становский, д-р техн. наук, проф.,
П.С. Швець, спеціаліст,
Одес. нац. політехн. ун-т
Д.А. Желдубовский, спеціаліст, Физ.-
технол. ин-т металлов и сплавов, г. Киев

ЭВОЛЮЦИОННАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СЛАБОСВЯЗАННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В САПР

О.Л. Становський, П.С. Швець, Д.О. Желдубовський. Еволюційна оптимізація слабкозв'язаних технічних систем в САПР. Показано, що слабкозв'язані системи в машинобудуванні становлять широке коло об'єктів, при проектуванні та управлінні якими виникають специфічні проблеми в розв'язанні завдань оптимізації. Зокрема, для цього незастосовні комплексні генетичні алгоритми, розроблені для оптимізації сильнозв'язаних систем. Запропоновано метод оптимізації слабкозв'язаних систем за допомогою генетичних алгоритмів, який дозволяє враховувати фізичну природу зв'язності.

Ключові слова: еволюційна оптимізація, комплексний генетичний алгоритм, слабкозв'язані системи.

A.L. Stanovsky, P.S. Shvets, D.A. Zheldubovsky. Evolutionary optimization of loosely coupled technical systems in CAD. Показано, что слабосвязанные системы в машиностроении составляют широкий круг объектов, при проектировании и управлении которыми возникают специфические проблемы в решении задач оптимизации. В частности, для этого неприменимы комплексные генетические алгоритмы, разработанные для оптимизации сильносвязанных систем. Предложен метод оптимизации слабосвязанных систем с помощью генетических алгоритмов, позволяющий учесть физическую природу связности.

Ключевые слова: эволюционная оптимизация, комплексный генетический алгоритм, слабосвязанные системы.

A.L. Stanovsky, P.S. Shvets, D.A. Zheldubovsky. The evolutionary optimization of loosely coupled technical systems in CAD. It is shown that loosely coupled systems in mechanical engineering make up a wide range of objects, in designing and controlling of which specific problems in the solution of optimization tasks arise. In particular, the complex genetic algorithms developed for tightly coupled systems optimization are inapplicable for this purpose. The method of loosely coupled systems optimization by means of genetic algorithms, which allows to consider the physical nature of connectivity, is offered.

Keywords: evolutionary optimization, complex genetic algorithm, loosely coupled systems.

Мир, в котором мы живем, является миром со слабыми причинно-следственными связями. Действительно, реальные системы имеют т.н. “ступенчатые функции” [1], которые при небольших вариациях возмущающих воздействий не дают им распространяться к другим системам. Более того, именно благодаря слабой связанности мира, можно выделить в нем отдельные системы, а в них подсистемы.

Под системой понимается совокупность взаимосвязанных элементов, обособленных от

среды и взаимодействующих с ней как целое. Существенное влияние на поведение элементов системы и свойства ее как целого оказывает мера их связей (сила, энергия, информация). Это позволяет выделить класс систем со слабосвязанными элементами или, проще, *слабосвязанных систем*. Под слабосвязанной понимают такую систему, в которой взаимодействие элементов достаточно сильно для формирования системных свойств, но недостаточно для изменения качественных свойств отдельных элементов [2].

Для систем, образованных элементами со сложной внутренней структурой, понятие слабосвязанности элементов неоднозначно, т.к. взаимодействие последних может вызывать изменение одних характеристик элементов и не оказывать влияния на другие.

В реальных системах количество характеристик элементов бесконечно велико. Только некоторые из них могут оказаться в той или иной мере связанными. При автоматизированном проектировании таких объектов иногда возникает проблема при многоцелевой (где количество целей может достигать количества элементов) оптимизации слабосвязанных характеристик. Дело в том, что многие способы оптимизации, например, генетического алгоритма, предполагают свободное варьирование значений этих характеристик в пределах допуска [3].

Однако связи между элементами систем иногда естественным образом накладывают весьма жесткие ограничения на такое варьирование. Поэтому предлагается повышать эффективность САПР путем усовершенствования метода генетического алгоритма для применения при многоцелевой эволюционной оптимизации систем элементов, отличающихся мерой связности последних. Для этого вначале рассмотрим их математические модели.

Системы с несвязанными элементами (несвязанные системы). Примеры таких систем: бильярдные шары, каждый на отдельном столе; фрезы, закрепленные на различных станках, и т.п. Пусть подобная система \mathbf{A} состоит из N элементов, т.е. $\mathbf{A}=(a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_N)$; набор и количество проектируемых переменных у всех элементов одинаковы, например, x_i и y_i . В этом случае в соответствии с теорией генетических алгоритмов [3] фенотипы каждого i -го элемента системы a_i ($i=1, \dots, N$) имеют вид целевых функций

$$z_i = z_i(x_i, y_i), \quad (1)$$

где переменные x_i и y_i играют роль общих для всех a_i аргументов, при общих ограничениях: $0 \leq x_i \leq x_{\max}$ и $0 \leq y_i \leq y_{\max}$.

Графическое отображение общих аргументов для всех элементов (их гена) на плоскости xOy представляется точкой с координатами $\{x_i, y_i\}$ (рис. 1, а). В процессе оптимизации каждая такая точка (каждый ген) может свободно и независимо от других точек “перемещаться” в зоне групповых ограничений, изменяя вместе со значениями аргументов x_i и y_i в соответствии с (1) и значения целевых функции z_i до тех пор, пока значения последних не станут оптимальными, наименьшими или наибольшими из возможных. Здесь отсутствие связности приводит к тому, что совокупность элементов утрачивает системные свойства: отдельные элементы могут подвергаться в САПР независимой оптимизации.

Системы с сильносвязанными элементами (сильносвязанные системы). Примеры таких систем: два жестко скрепленных между собой бильярдных шара на одном столе, две фрезы, вращающиеся на одном валу, и т.п. Такие объекты обладают дополнительным жестким ограничением: один из аргументов, например, y , является обобщенным в том смысле, что всегда [4]

$$y_1 = y_2 = \dots = y_i = y_j = \dots = y_N, \quad (2)$$

или, что то же самое,

$$\Delta y_{ij} = y_i - y_j = 0; \quad i = 1 \dots N; \quad j = 1 \dots N. \quad (3)$$

В этом случае выражение (1) преобразуется к виду

$$z_i = z_i(x_i, y), \quad (4)$$

а на плоскости xOy N точек, отображающих сильносвязанные элементы (обобщенный ген N сильносвязанных элементов), всегда располагаются на одной прямой, параллельной оси абс-

цисс (на рисунке 1, б таких точек две), и любое их перемещение в процессе оптимизации не должно нарушать это свойство.

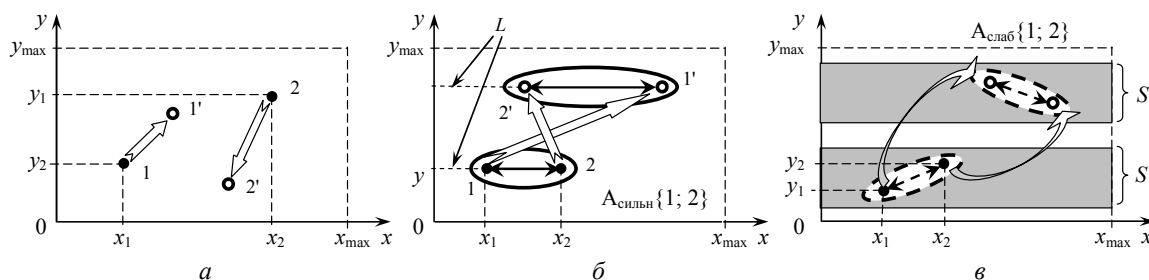


Рис. 1. Схемы траекторий возможных перемещений аргументов несвязанных (а), сильносвязанных (б) и слабосвязанных (в) систем в процессе оптимизации: L — линии сильной связности; S — полосы слабой связности

В итоге, наличие сильной связности приводит к тому, что совокупность элементов может быть сведена в САПР к единому элементу с последующей оптимизацией его характеристик с помощью единой целевой функции

$$z = z(x_1, \dots, x_N, y). \quad (5)$$

Системы со слабосвязанными элементами (слабосвязанные системы). Примеры таких систем: два нежестко (шарнирно или с помощью пружины) скрепленных между собой бильярдных шара на одном столе, две фрезы, имеющие общий привод и систему, позволяющую варьировать скорости их вращения относительно друг друга в некоторых пределах, и т.п. Такие объекты обладают дополнительным нежестким ограничением: один из аргументов (например, y) является обобщенным в том смысле, что всегда имеет место соотношение

$$S \geq \Delta y_{ij} \geq 0; \quad i = 1 \dots N; \quad j = 1 \dots N, \quad (6)$$

где S — предел варьирования слабосвязанных аргументов.

В этом случае на плоскости xOy точки, отображающие слабосвязанные элементы, всегда располагаются в пределах некоторой полосы, шириной по оси y , равной S , и параллельной оси x , и любое их перемещение в процессе оптимизации не должно нарушать это свойство (см. рисунок 1, в).

В итоге, наличие слабой связности приводит к тому, что оптимизация в САПР выполняется с помощью системы целевых функций (1), но при обязательном выполнении дополнительных ограничений (6).

Характеристики связности подсистем, входящие в (1) и (6), для технического объекта (конструкция, технология) полностью определяются его физической природой. Эти характеристики могут носить детерминированный, стохастический, а также нечеткий характер, предоставляя исследователю, проектировщику или специалисту по управлению широкие возможности при построении математических моделей оптимизации таких объектов.

При эволюционной оптимизации слабосвязанных систем методом комплексного генетического алгоритма к обычным операторам скрещивания, мутации и инверсии добавляется еще один — оператор поворота, который “разворачивает” обобщенный ген в пределах полосы связности S таким образом, чтобы вероятность выбора угла разворота была пропорциональна вероятности распределения случайной величины Δy_{ij} ; $i = 1 \dots N$; $j = 1 \dots N$ в пределах ширины полосы связности S . Такая операция служит дополнительным фактором улучшения сходимости генетического алгоритма и, соответственно, эффективности всего метода эволюционной оптимизации.

Рассмотрим пример, в котором тип нечетких отношений задается как бинарное нечеткое отношение между элементами из двух универсальных множеств. При этом форма и вид функ-

ции принадлежностей нечеткого отношения также зависит от физического содержания элементов и условий их взаимодействия с окружающей средой.

Для сравнения начнем с сильносвязанной системы. Пусть некоторая производственная система — технологический процесс одновременного прокаливания двух керамических литейных форм различной конфигурации и состава — включает операцию, осуществляемую в печи прерывистого действия со встроенным нагревательным элементом (рис. 2, а).

Пусть целевыми функциями z_1 и z_2 оптимизации техпроцессов прокаливания выбраны прочности соответствующих литейных форм, а проектируемыми параметрами: аргументы x_1 и x_2 (содержание связующего в формах), а также y_1 и y_2 (температуры их прокаливания). Очевидно, что при оптимальном проектировании этого техпроцесса x_1 и x_2 могут изменяться независимо, а y_1 и y_2 при такой конструкции печи всегда будет общими. Благодаря этому, $y_1 = y_2 = y$, собственно, и будет сильной связью, накладывающей жесткие ограничения как на процесс, так и на его математическую модель.

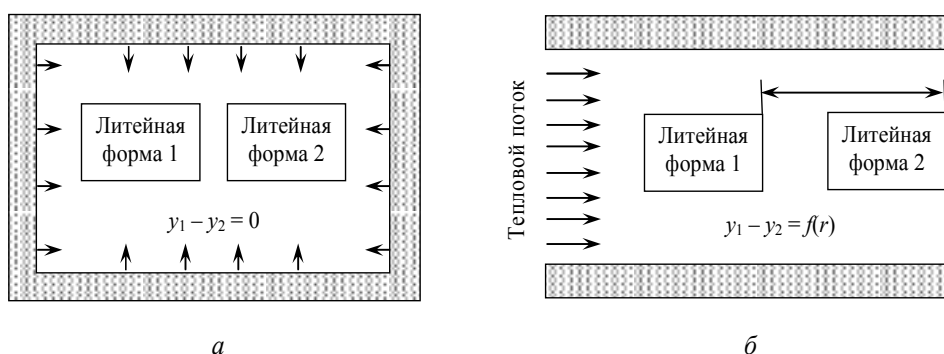


Рис. 2. Примеры сильно- (а) и слабосвязанных (б) операций в технологическом процессе прокаливания

Если же применить печь другой конструкции — проходную с нагревом тепловым потоком от внешнего нагревательного элемента, система становится слабосвязанной, т.к. с помощью определенных операций (например, изменения расстояния между формами r) разница между температурами прокаливания отдельных форм может изменяться в определенных пределах (рис. 2, б).

При оптимальном проектировании с помощью комплексного генетического алгоритма модуль разницы $|y_1 - y_2|$ необходимо удерживать в пределах $0 \dots S$, а величина S может рассматриваться в качестве нечеткого отношения, которое определяется как любое нечеткое подмножество упорядоченных кортежей параметров, оценивающих связность, построенных из элементов тех или иных базисных множеств [5].

Предложенные подходы использованы при создании САПР технологического процесса литья в керамические формы. Положительный технический эффект — снижение количества бракованных отливок на 35 % — достигнут за счет создания условий для нахождения глобальных субоптимумов параметров процессов, состоящих из слабосвязанных операций.

Литература

1. Эшби, У.Р. Конструкция мозга. Происхождение адаптивного поведения / У.Р. Эшби. — М.: Изд-во иностр. лит., 1962. — 398 с.
2. Бахрушин, В.Е. Слабосвязанные системы в природе и обществе / В.Е. Бахрушин // Складні системи і процеси. — 2003. — № 1. — С. 21 — 25.
3. Дорошук, А.В. Применение современных методов для оптимизации электронных схем / А.В. Дорошук // Тр. Одес. политехн. ун-та. — 1999. — Вып. 2(8). — С. 28 — 31.
4. Тонконогий, В.М. Модернизация метода генетического алгоритма для оптимизации параметров многониточного резьбошлифования / В.М. Тонконогий, А.А. Перпери, Д.А. Монова // Материа-

- лы XIX семинара “Моделирование в прикладных научных исследованиях”, Одесса, ОНПУ, 17 – 18 марта 2011 г. — Одесса, 2011. — С. 3 — 4.
5. Раскин, Л.Г. Нечеткая математика. Основы теории. Приложения / Л.Г. Раскин, О.В. Серая. — Харьков: Парус, 2008. — 352 с.

References

- Eshbi, U.R. Konstruktsiya mozga. Proiskhozhdenie adaptivnogo povedeniya [Brain Design. Origin of Adaptive Behavior] / U.R. Eshbi. — Moscow, 1962. — 398 p.
2. Bakhrushin, V.E. Slabosvyazannye sistemy v prirode i obshchestve [Loosely Coupled Systems in Nature and Society] / V.E. Bakhrushin // Skladni sis-temy i protsesy [Complex Systems and Processes] — 2003. — # 1. — PP. 21 — 25.
3. Doroshuk, A.V. Primenenie sovremennykh metodov dlya optimizatsii elektronnykh skhem [Modern Methods' Application for Electronic Circuits Optimization] / A.V. Doroshuk // Tr. Odes. politekhn. un-ta [Transactions of the Odesa Polytechn. Univ.] — 1999. — Issue 2(8). — PP. 28 — 31.
4. Tonkonogiy, V.M. Modernizatsiya metoda geneticheskogo algoritma dlya optimizatsii parametrov mnogonitochnogo rez'boshlifovaniya [Genetic Algorithm Method Modernization for Optimizing Multi-strand Thread Grinding Parameters] / V.M. Tonkonogiy, A.A. Perperi, D.A. Monova // Materialy XIX seminar “Modelirovanie v prikladnykh nauchnykh issledovaniyakh”, Odessa, ONPU, 17 — 18 marta 2011 g. [Materials of the XIX Seminar “Modeling (Simulation) in Applied Scientific Research”, Odessa, ONPU, March 17-18, 2011.] — Odessa, 2011. — PP. 3 — 4.
5. Raskin, L.G. Nechetkaya matematika. Osnovy teorii. Prilozheniya [Fuzzy Mathematics. Theoretical Basis. Applications.] / L.G. Raskin, O.V. Seraya. — Khar'kov, 2008. — 352 p.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Крисилов В.А.

Поступила в редакцию 12 мая 2011 г.