

1. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы: Учеб. пособие для вузов.– М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 432 с.
2. Холл Дж., Уатт Дж. Современные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. – М.: Мир, 1979. – 321 с.
3. Хемминг Р.В. Численные методы для научных работников и инженеров. – М., 1972. 400 с.
4. Пухов Г.Е. Дифференциальные преобразования функций и уравнений. – К.: Наук. думка, 1980. – 420 с.
5. Ронто Н.И. О неявных схемах интегрирования, основанных на дифференциальных преобразованиях // Электронное моделирование. – 1986. – т. 8, № 4. – С. 44-50.
6. Степанов А.В. Аппроксимационный вариант неявной Т-схемы численного интегрирования // Теоретическая электротехника. – 1985. – Вып. 39. – С.123-126.
7. Коваль Н.В., Семагина Э.П. Об устойчивости алгоритмов решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений методом дифференциального преобразования // Теоретическая электротехника. – 1985. – Вып. 39. – С. 108–118.
8. Ракушев М.Ю. Апроксимація та стійкість методу змінених диференціально-тейлорівських перетворень для рішення задачі Коші// Вісник ЖДТУ. – Житомир: ЖДТУ, 2007. – 42 № 3. – С. 128–132.
9. Бейкер Дж, мл., Грейвс-Моррис П. Аппроксимации Паде. Пер. с англ.– М.: Мир, 1886.– 502с.
10. Ковбасюк С.В., Ракушев М.Ю. Метод решения вариационного уравнения для задачи Коши на основе дифференциальных преобразований // Электронное моделирование. – 2008. – т. 30, № 6. – С. 59-70.

Поступила 14.02.2013р.

УДК 517.977.57:621.74.08

М.А. Духанина, магистр, Е.Ю. Лебедева, аспирант, П.С. Швец, специалист,
 Одесс. нац. политехн. ун-т, г. Одесса
 Л.А.Одукалец, м.н.с., ДУ "Институт геохімії навколишнього середовища НАН
 України", г.Київ

ЭВОЛЮЦИОННАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СЛАБОСВЯЗАННЫХ СИСТЕМ

The version of the complex genetic algorithm, allowing to optimize objects with poorly connected subsystems is offered. Observance of "soft" connectivity is provided by adaptive control of crossing operation for receiving the descendants which aren't breaking restrictions on connectivity.

Введение. В последнее время широкое распространение получили так называемые технологические процессы со слабосвязанными подсистемами (ТПСП) и технологическое оборудование со слабосвязанными параметрами (ТОСП).

Примером ТПСП может служить процесс заливки литейной формы, в котором температуры заполнения жидким металлом отдельных частей отливки связаны между собой общей температурой металла в струе из ковша, но эта связь не “жесткая”, – в разных частях (подсистемах) температуры могут отличаться на некоторую, ограниченную условиями процесса, величину. К объектам такого же класса относятся процессы многониточного резьбошлифования [1], многоручьевого непрерывного литья [2] и многие другие.

1. Постановка проблемы. Проблемы в проектировании и управлении такими процессами возникают тогда, когда необходимо вычислить значения некоторых параметров-аргументов, доставляющих максимум (минимум) заданным целевым функциям, т.е. при решении задач оптимизации. Дело в том, что из-за сложности целевых функций в ТПСП и ТОСП аналитические методы оптимизации к ним неприменимы, а численные методы требуют поитерционного варьирования значений аргументов, что весьма затруднительно в условиях взаимной связи, в общем-то, функционально далеких друг от друга характеристик, относящихся к разным подсистемам.

2. Анализ последних достижений и публикаций. В последнее время широкое распространение получил эволюционный метод оптимизации многоэкстремальных систем, названный генетическим алгоритмом (ГА) [3, 4]. Как известно, основные вычисления в классическом ГА осуществляются на уровне так называемых “хромосом” – символьных моделей, несущих информацию об аргументах целевой функции.

Если подсистемы в оптимизируемой системе независимы – целевые функции в них различны, а множества значений аргументов этих функций не пересекаются, то такие подсистемы с точки зрения рассматриваемой проблемы не связаны, и ее постановка распадается на несколько независимых задач классической оптимизации.

Если же множества значений аргументов целевых функций в подсистемах пересекаются хотя бы частично, задача становится “жесткой”, т.к. варьируя связанные аргументы в одной подсистеме, мы невольно вынуждены *одинаково* варьировать их и в другой. Решать такие задачи предложено с помощью комплексного ГА, порождающего комплексные звездообразные хромосомы, учитывающие жесткие связи [5, 6].

В последнее время появились работы [7, 8], вводящие новый вид хромосом – с “мягкой” связью аргументов, у которых связанные аргументы могут все таки отличаться для двух подсистем, но не более, чем на некоторую величину S_{\max} . Такое ограничение противоречит основному свойству ГА: свободному варьированию аргументов при решении задачи оптимизации. Действительно, на каждой эпохе эволюции ГА могут

появляться хромосомы потомков, не удовлетворяющие указанному ограничению, что приводит к аварийному останову программы алгоритма.

Появление таких потомков в относительно больших количествах (что и наблюдается на практике) делает даже комплексный ГА непригодным для оптимизационных вычислений. Это требует создания альтернативного ГА, содержащего в своем составе новый метод скрещивания хромосом, адаптирующийся к постоянно возникающим проблемам ограничений “мягкой” связности.

3. Цель работы – повышение эффективности проектирования и управления за счет более глубокой оптимизации параметров объектов со слабосвязанными подсистемами путем разработки адаптивного генетического алгоритма для “мягких” эволюционных вычислений.

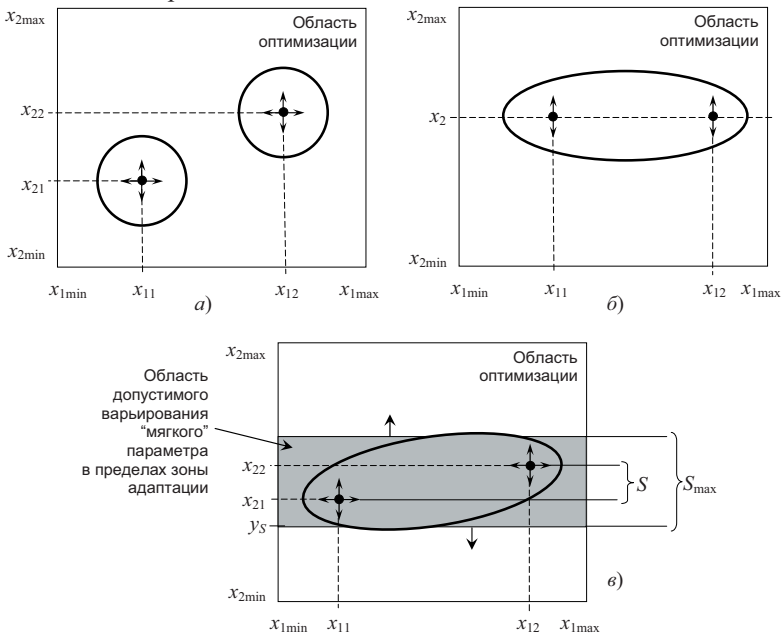


Рис. 1. Схемы построения и области допустимых изменений аргументов целевой функции (хромосом) при оптимизации с помощью:
 а – классического ГА; б – комплексного ГА с жесткой связью;
 в – комплексного ГА с “мягкой” связью.

4. Основной материал. Основопологающим свойством ГА является то, что в процессе оптимизации аргументы могут принимать любые значения из области, ограниченной их минимальными и максимальными допустимыми значениями, например, для целевой функции N аргументов $y(\mathbf{x})$; $\mathbf{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ область существования хромосом (область оптимизации) ограничена выражениями:

$$x_{1\min} \leq x_1 \leq x_{1\max}; x_{2\min} \leq x_2 \leq x_{2\max}; \dots; x_{N\min} \leq x_N \leq x_{N\max}. \quad (1)$$

На рис. 1 а в качестве примера показаны две двухпараметрические несвязанные хромосомы двух подсистем одной системы, а также общая (совпадающая по всем аргументам) область допустимых значений для их четырех аргументов $\mathbf{x}_1 = \{x_{11}, x_{12}\}$ и $\mathbf{x}_2 = \{x_{21}, x_{22}\}$ в процессе оптимизации целевых функций $y_1(x_{11}, x_{12})$ и $y_2(x_{21}, x_{22})$ с помощью ГА.

В отличие от двух классических, при “жесткой” – математически строгой – связи одна комплексная хромосома несет информацию о трех аргументах: x_{11}, x_{12} и x_2 , так как аргумент x_2 у них общий (рис. 1 б). В то же время он сохраняет основное свойство ГА: свободное варьирование в пределах общих ограничений (1).

При “мягкой” связи к ограничениям (1) добавляются новые:

$$x_{ij} \in \{x_i; x_i + S_{\max}\} \quad (2)$$

для каждой группы связанных аргументов, состоящей, в общем случае, из 2, 3, ..., N элементов. В соответствующей “мягкой” комплексной двухпараметрической хромосоме, как в первом случае, вновь хранятся четыре переменные: $x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, S$ (рис. 1 б), однако память такого ГА дополнительно содержит значение S_{\max} для каждой “мягкой” связи.

Структурные схема классической, а также комплексных “жесткой” и “мягкой” хромосом для случая двух аргументов, а также информация, содержащаяся в них и в памяти соответствующих ГА, приведены в таблице.

Адаптация алгоритма под оптимизацию объекта со слабосвязанными подсистемами осуществляли на этапе скрещивания ГА. В отличие от классического ГА, в котором чаще всего применяется точечное, двухточечное и многоточечное скрещивание, в комплексном ГА с “мягкими” связями применяли равномерное скрещивание, иначе называемое монолитным или одностадийным. Такое скрещивание выполняется в соответствии со случайно выбранным битовым ключом, указывающим, какие гены должны наследоваться от первого, а какие от второго родителя. Допустим, что выбран эталон ААБАБББАБАББ, в котором А означает принятие гена на соответствующей позиции от первого родителя, а Б – от второго. Таким образом формируется первый потомок (рис. 3).

Адаптация алгоритма под оптимизацию объекта со слабосвязанными подсистемами осуществляли на этапе скрещивания ГА. В отличие от классического ГА, в котором чаще всего применяется точечное, двухточечное и многоточечное скрещивание, в комплексном ГА с “мягкими” связями применяли равномерное скрещивание, иначе называемое монолитным или одностадийным. Такое скрещивание выполняется в соответствии со случайно выбранным битовым ключом, указывающим, какие гены должны наследоваться от первого, а какие от второго родителя. Допустим, что выбран эталон ААБАБББАБАББ, в котором А означает принятие гена на соответствующей позиции от первого родителя, а Б – от второго. Таким образом формируется первый потомок (рис. 3).

Схемы символьных моделей (хромосом) и содержащаяся в них информация для двух двухпараметрических подпроцессов

№ №	Хромосома		Информация	
	Название	Структурная схема	в ГА	в хромосоме
1	Классическая		x_{1min} , x_{1max} , x_{2min} , x_{2max}	x_{11} , x_{12} , x_{21} , x_{22}
2	Комплексная “жесткая”		x_{1min} , x_{1max} , x_{2min} , x_{2max}	x_{11} , x_{12} , x_2
3	Комплексная “мягкая”		x_{1min} , x_{1max} , x_{2min} , x_{2max} , S_{max}	x_{11} , x_{12} , x_{21} , x_{22}

Для второго потомка ключ считывается инверсивно: Б означает принятие гена на соответствующей позиции от первого родителя, а А – от второго.

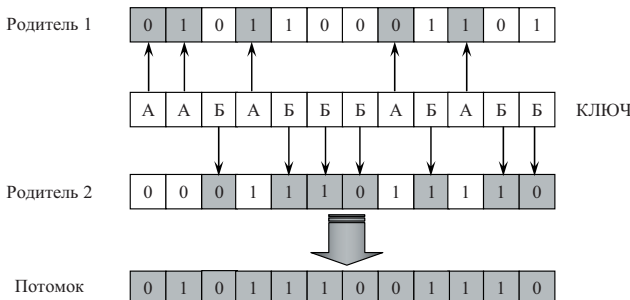


Рис. 3. Схема скрещивания в соответствии со случайным битовым ключом

Все полученные таким образом потомки подвергаются мутации и инверсии и далее проходят проверку на выполнение условия (2) и, если оно не выполняется, происходит повторное скрещивание тех же родителей, но при другом вновь случайно выбранном ключе.

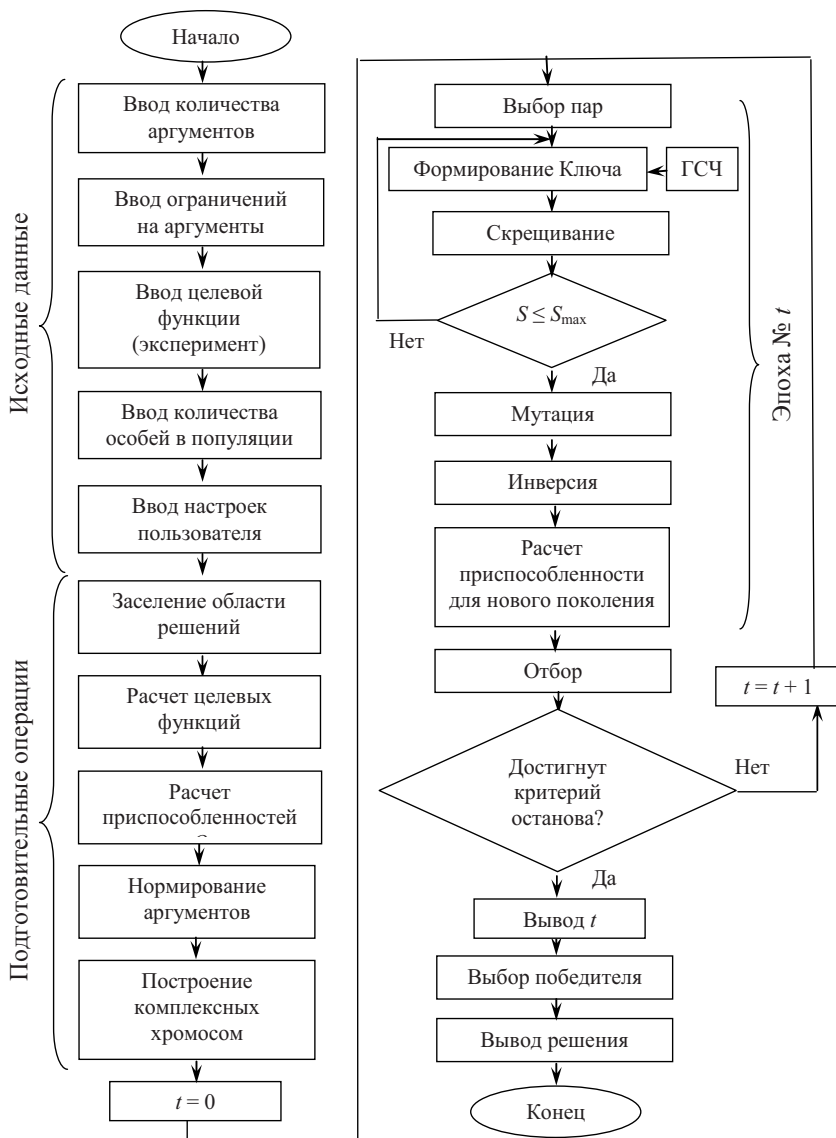


Рис. 4. Схема комплексного адаптивного генетического алгоритма

Эксперимент показывает, что “мягкой” операции скрещивания в сочетании с “жесткими” операциями мутации и инверсии достаточно для получения в приемлемое время потомков с соблюдением ограничений на связность. Если же таким образом не удастся решить задачу, адаптивный подход можно распространить также и на мутацию с инверсией, что предоставит пользователю значительно больше возможностей выбора вариантов хромосом для потомков.

Схема комплексного адаптивного генетического алгоритма приведена на рис. 4. Схема содержит блоки адаптации скрещивания, “следящие” за выполнением описанных выше ограничений на процесс оптимизации.

Работу адаптивного генетического алгоритма для “мягких” эволюционных вычислений испытали в рамках САПР технологического процесса многоструйного непрерывного литья меди. В производстве установлено, что основным показателем качества получаемых при этом слитков является относительное удлинение металла δ в испытаниях на разрыв, а основные технологические характеристики, влияющие на δ , – это средняя скорость вытягивания слитка V и температура охлаждающей воды на входе в кристаллизатор T .

Из-за различного расположения кристаллизаторов относительно точки поступления жидкого металла в раздаточную печь для получения непрерывных отливок наилучшего качества параметры подпроцессов вытягивания и охлаждения для каждой из них должны отличаться, оставаясь в пределах ограничений связности.

Расчеты выполняли для двух параллельно работающих кристаллизаторов, охлаждаемых от одного источника воды (связность по T), из которых слитки извлекали однотипными вытягивающими устройствами (связность по V). Условия процесса позволяют варьировать параметры V и T в пределах $3,2 \leq V \leq 3,6$ м/мин и $20 \leq T \leq 32$ °С.

Из-за прерывистого режима вытягивания слитков и возникающих при этом низкочастотных колебаний функции $\delta_1(V_1, T_1)$ и $\delta_2(V_2, T_2)$ (индексы 1 и 2 относятся к разным кристаллизаторам) имеют многоэкстремальный характер. В этих условиях для расчетов был применен комплексный адаптивный ГА, что позволило рассчитать оптимальные параметры процесса: $V_1 = 3,37$ м/мин; $T_1 = 22$ °С; $V_2 = 3,54$ м/мин; $T_2 = 29$ °С.

Выводы. Предложенный метод оптимизации параметров объектов со слабосвязанными подсистемами, состоящий в применении разработанного адаптивного генетического алгоритма для “мягких” эволюционных вычислений позволил повысить глубину оптимизации и получить в компьютерных экспериментах положительный технический эффект.

1. *Тонконогий В.М.* Многоцелевая оптимизация методом комплексного генетического алгоритма / В.М. Тонконогий, А.А. Перпери, Д.А. Монова. – Сучасні технології в машинобудуванні: збірник наукових праць. – Вип. 6. – Харків, НТУ “ХПІ”, 2011. – С. 276 – 281.

2. Прокопович О.И. Температура поверхности катанки как косвенный параметр управления качеством / О.И. Прокопович, И.В. Прокопович, В.Д. Гогунский // Труды Одесского политехнического университета. – Одесса, 2003. – Вып. 2(20). – С. 128 – 130.
3. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Винница: Универсум-Винница, 1999. – 320 с.
4. Скурихин А.Н. Генетические алгоритмы // Новости искусственного интеллекта. – 1995. – № 4. – С. 6 – 46.
5. Монова Д.А. Комплексный генетический алгоритм / Д.А. Монова, А.А. Перпери, П.С. Швець // Праці Одеського політехнічного університету: Науковий та науково-виробничий збірник. – Одеса, 2011. – Вып. 1(35). – С. 176 – 180.
6. Перпери А.О. Модернізація математичного методу генетичного алгоритму для оптимізації взаємозалежних технологічних процесів / А.О. Перпери, Л.А. Одукалець, Д.А. Монова, П.С. Швець // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. Моделювання та інформаційні технології. – 2011. – Вып. 60. – С. 90 – 94.
7. Становский А.Л. Эволюционная оптимизация слабосвязанных технических систем в САПР / А.Л. Становский, П.С. Швець, Д.А. Желдубовский // Праці Одеського політехнічного університету: Науковий та науково-виробничий збірник. – 2011. – Вып. 2(36). – С. 234 – 238.
8. Становский А.Л. Оптимизация слабосвязанных систем в автоматизированном проектировании и управлении / А.Л. Становский, П.С. Швець, И.Н. Щедров. – Сучасні технології в машинобудуванні: збірник наукових праць. – Вып. 6. – Харків, НТУ “ХПІ”, 2011. – С. 129 – 134.

Поступила 4.03.2013р.

УДК 683.03

М.В.Коробчинський

АНАЛІЗ СИСТЕМНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Аннотация. В работе проводится анализ системных параметров процессов функционирования распределённых систем управления. Рассматриваются особенности, которые определяют динамику распределённой системы управления. Проводится анализ системных параметров, которые введены и определяют процесс функционирования системы. Определяются границы определения введённых параметров и методы их оценки.

Ключевые слова: системные параметры, распределённая система, функционирование, система управления.