

И.В. Захаров, П.В. Корчагин

**ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СТРУКТУР НЕОДНОРОДНЫХ
ИЕРАРХИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ АППАРАТА
ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ**

Предложен метод эвристического решения сложной комбинаторной оптимизационной задачи большой размерности со стохастической целевой функцией, позволяющий посредством выбора рациональных параметров генетического алгоритма и использования стохастической фитнес-функции с переменным коэффициентом вариации достигать удовлетворительной скорости его сходимости при большой размерности задачи. Приведены результаты статистического исследования, показавшие возможность сокращения времени, затрачиваемого на поиск рациональных вариантов построения иерархической системы, на примере бортовой вычислительной системы космического аппарата. Указанный метод предлагается использовать для разработки предложений по обоснованию их технического облика.

Ключевые слова: неоднородная система, эволюционный поиск, генетический алгоритм.

I.V. Zakharov, P.V. Korchagin

**JUSTIFICATION OF THE SELECTION OF STRUCTURES
OF INHOMOGENEOUS HIERARCHICAL SYSTEMS BY MEANS
OF THE DEVICE OF GENETIC ALGORITHMS**

A method of heuristic solution of a complex combinatorial optimization problem of large dimension with a stochastic objective function is proposed, which allows, by choosing rational parameters of the genetic algorithm and using the stochastic fitness function with a variable coefficient of variation, to achieve a satisfactory rate of its convergence with a large dimension of the problem. The results of a statistical study are presented, which showed the possibility of reducing the time spent on the search for rational options for constructing an hierarchical system using the example of an onboard computer system of a spacecraft. This method is proposed to use to develop proposals for the justification of their technical appearance.

Keywords: heterogeneous system, evolutionary search, genetic algorithm.

Эволюционный поиск как метод оптимизации применительно к выбору сложной иерархической гетерогенной структуры системы позволяет эффективно решать сложные комбинаторные задачи оптимизации для построения и управления функционированием систем, обладающих сложной неоднородной иерархической структурой.

Среди методов эволюционного поиска для приближенного решения сложных комбинаторных задач оптимизации наибольшую эффективность показали генетические алгоритмы (ГА) [3]. Они представляют собой способы решения задач оптимизации на базе эволюционного моделирования и направлены на использование аналогий с природными процессами естественного отбора. Преимущества методов оптимизации на основе ГА в сравнении с классическими состоят, прежде всего, в возможности различных способов

Захаров И.В., Корчагин П.В. Обоснование выбора структур неоднородных...

задания целевой функции (ЦФ) и типов переменных оптимизации, а также в использовании вероятностных, а не детерминированных, правил поиска решений.

Метод с итерационной реализацией эволюционного поиска, включающий последовательное применение операторов кроссинговера, мутации, нормализацию формального описания генотипа, вычисление фитнес-функций (ФФ), а также применение оператора селекции в каждой итерации, соответствующей поколению, предполагает настройку параметров алгоритма для получения удовлетворительного результата путем его неоднократной реализации с построенной предварительно ФФ [8]. В случае ограниченного времени решения задачи и ее существенной трудоемкости такой путь представляется весьма затруднительным. Поэтому для решения задачи стохастической комбинаторной оптимизации предлагается использовать ГА со стохастической ФФ с переменным (меняющимся в процессе поиска) коэффициентом вариации, проводя предварительный выбор рациональных параметров настройки алгоритма.

Рассмотрим подход к рациональному выбору структуры неоднородной информационно-вычислительной системы (ИВС), обеспечивающий наибольшее значение математического ожидания показателя ЦФ на основе ГА. Исходными данными для выбора являются электронная компонентная база (ЭКБ), которая может быть использована в качестве элементов ИВС, а также имитационно-аналитическая модель ИВС, соотносящая ее структуру с достигаемым показателем целевого эффекта, выступающим как ЦФ. Имеются ограничения по времени решения, что обусловлено трудоемкостью получения оценок значений ЦФ путем многократной реализации имитационного моделирования работы ИВС при исследовании множества решений. Соответствующая задача достаточно подробно изложена в [1].

Сущность применения ГА для решения поставленной задачи состоит в следующем [1; 8; 9]. Во-первых, кодируются варианты структуры и конструируются операторы ГА с учетом того, что роль элемента зависит от его места в структуре – другими словами, набор аргументов ЦФ является упорядоченным, в отличие от традиционных приложений ГА. Во-вторых, заданная ЦФ вычисляется посредством имитационно-аналитического моделирования [7]. Следовательно, для получения статистической оценки качества каждого варианта решения требуется получить значительное число ее реализаций. Поэтому на базе заданной ЦФ строится детерминированная фитнес-функция, при помощи которой для заданного набора исходных данных проводится исследование вариантов построения ГА и его операторов. Сформулировав критерий качества ГА, можно подобрать его основные параметры, а также рациональное число реализаций ЦФ, соответствующих приемлемой трудоемкости. В частности, противоречиво стремление увеличить как число поколений, так и объем популяции. В-третьих, коэффициент вариации, зависящий от числа реализаций ЦФ, определяет не только ошибку ее оценки, но также результативность и скорость сходимости алгоритма, влияя на вероятность отбраковки перспективных решений. Существенно сократить вычислительную трудоемкость алгоритма можно за счет более грубой оценки математического ожидания ЦФ на начальных стадиях работы алгоритма (резко сокращая количество вычислений ЦФ) и более точной – на завершающих, обеспечивая точность результата.

Таким образом, новизна предлагаемого подхода к использованию ГА для решения задачи комбинаторной оптимизации в случае стохастической ЦФ подразумевает:

- адаптацию параметров ГА для конкретных исходных данных при детерминированной ФФ и последующую его реализацию при заданной ЦФ, предполагающей имитационное моделирование;
- снижение коэффициента вариации ФФ с ростом номера поколения, соответствующее уменьшению количества вычислений ЦФ со снижением номера поколения;
- применение различных параметров кроссинговера для аллелей, соотношенных с элементами различных иерархических уровней структуры-фенотипа.

Приведем пример приложения разработанного метода и модели многомодульной перестраиваемой бортовой вычислительной системы космического аппарата в условиях деградации к выбору ее рациональной структуры. Построение модели функционирования системы изложено в [5; 7], представлена оценка ее адекватности, а также достигаемый при ее использовании эффект [5]. С этой целью разработаны и использованы соответствующие программные комплексы [4; 6], реализованные на ПЭВМ с тактовой частотой 3 ГГц в среде MatLab 7. При этом время вычисления однократной реализации ЦФ составило 274 мс для 100 шагов интегрирования, требуемое среднеквадратическое отклонение оценки ЦФ – 1%, что соответствует 10^4 опытов (исходный коэффициент вариации ЦФ близок к 1). Общее число элементов трехуровневой структуры $N = 22$.

Проведены настройка и исследование соответствующего алгоритма. На рисунке 1 представлена зависимость результативности от объема популяции при фиксированной предельной вычислительной трудоемкости процедуры поиска оптимальной структуры.

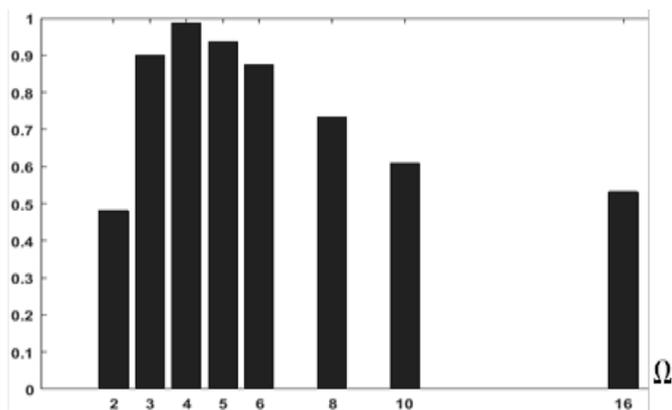


Рис. 1. Зависимость результативности от объема популяции при фиксированной трудоемкости

На рисунке 2 приведена экспериментальная зависимость показателя результативности поиска от числа поколений при рациональной настройке алгоритма: параметры кроссинговера 0,95 ... 0,8 в зависимости от уровня иерархии, параметр мутации 0,3, объем популяции 4. При этом коэффициент вариации ФФ изменяется от 0,4 в первом поколении до 0,01 в последнем.

При заданном ограничении по времени поиска, соответствующему перебору 48 вариантов структур традиционным путем, разработанный метод позволил отыскать квазиоптимальное решение, обеспечивающее значение оценки ЦФ около 0,99.

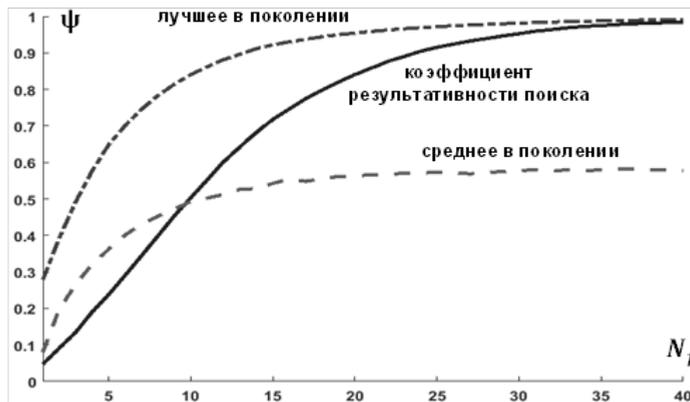


Рис. 2. Зависимость результативности от числа поколений при рациональной настройке алгоритма

В то же время для традиционного способа применения ГА (с постоянным коэффициентом вариации Φ) с рациональными параметрами данная величина составила 0,56. С другой стороны, фиксируя требуемое значение оценки ЦФ, можно оценить выигрыш по времени его достижения: около 8 раз для величины 0,95 и 12 раз – для 0,9.

Таким образом, предложенный метод эвристического решения сложной комбинаторной оптимизационной задачи большой размерности, в основе которого лежит применение аппарата эволюционного моделирования – генетических алгоритмов, отличается эволюционным поиском со стохастической целевой функцией при структурно-параметрической оптимизации гетерогенных иерархически-сетевых ИВС. Данный метод позволяет существенно снизить вычислительную трудоемкость (в рассмотренном примере – приблизительно на порядок). Также в рассмотренном примере поиска структуры ИВС было получено приращение целевой функции при заданной трудоемкости до 90% относительно эвристического применения эволюционного поиска.

Литература

1. Басыров А.Г., Захаров И.В., Шушаков А.О. Подход к синтезу структуры бортовых вычислительных систем космических аппаратов на основе эволюционного поиска // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. Вып. 12. Ч. 2. С. 369–380.
2. Борисов А.А., Краснов С.А., Нечай А.А. Технология блокчейн и проблемы ее применения в различных информационных системах // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2018. Вып. 2. С. 63–67.
3. Бураков М.В. Генетический алгоритм: теория и практика. СПб.: ГУАП, 2008. 164 с.
4. Захаров И.В., Басыров А.Г., Эсаулов К.А. Программный комплекс моделирования реконфигурируемых информационно-вычислительных систем / Свидетельство о государственной регистрации ПрЭВМ, рег. № 2018617777 от 02.07.2018. М.: Роспатент, 2018.
5. Захаров И.В., Забузов В.С., Кузнецов В.В. Модель функционирования реконфигурируемой бортовой вычислительной системы космического аппарата в условиях ее структурно-параметрической деградации // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 4. С. 176–195. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2018-04/09-Zakharov.pdf>

6. Захаров И.В., Забузов В.С., Соколовский А.Н. Программный комплекс для рационального выбора неоднородной иерархической структуры вычислительной системы и ее конфигураций на основе генетических алгоритмов / Свидетельство о государственной регистрации ПрЭВМ, рег. № 2018614368 от 04.04.2018. М.: Роспатент, 2018.
7. Захаров И.В. Модель перестраиваемой бортовой вычислительной системы в условиях возможной деградации // Труды ВКА имени А.Ф. Можайского. № 658. СПб.: ВКА, 2017. С. 144–152.
8. Захаров И.В. Рациональный выбор структур и конфигураций неоднородных вычислительных систем при помощи эволюционного поиска // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ, управление». 2018. Вып. 1. С. 85–90.
9. Захаров И.В., Терехов В.Г. Применение генетических алгоритмов к задачам построения бортовых вычислительных систем и управления их функционированием // Естественные и технические науки. № 8 (110). М.: Спутник+, 2017. С. 92–95.
10. Калинин С.В., Котиков П.Е., Нечай А.А. Решение репликационных проблем в базах данных для повышения устойчивости программного обеспечения автоматизированных систем // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2017. Вып. 4. С. 18–21.
11. Нечай А.А., Копьев А.И. Метод управляемого распределения ресурсов между ядрами процессора // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2018. Вып. 2. С. 101–107.
12. Нечай А.А., Котиков П.Е. Актуальные проблемы защиты информации в современных автоматических телефонных станциях // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2015. Вып. 2. С. 65–69.
13. Свиначук А.А., Нечай А.А. Использование квантовых вычислений при выборе управленческого решения // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2018. Вып. 2. С. 31–36.
14. Ширококов В.В., Нечай А.А. Алгоритм планирования энергосберегающей параллельной обработки информации с учетом информационной важности и времени поступления задач // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2017. Вып. 1. С. 88–93.

Literatura

1. Basyrov A.G., Zaharov I.V., Shushakov A.O. Podhod k sintezu struktury bortovyh vychislitel'nyh sistem kosmicheskikh apparatov na osnove evolyucionnogo poiska // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2017. Vyp. 12. Ch. 2. S. 369–380.
2. Borisov A.A., Krasnov S.A., Nechaj A.A. Tekhnologiya blokchejn i problemy ee primeneniya v razlichnyh informacionnyh sistemah // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2018. Vyp. 2. S. 63–67.
3. Burakov M.V. Geneticheskij algoritm: teoriya i praktika. SPb.: GUAP, 2008. 164 s.
4. Zaharov I.V., Basyrov A.G., Esaulov K.A. Programmnyj kompleks modelirovaniya rekonfiguriruemyh informacionno-vychislitel'nyh sistem / Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii PrEVM, reg. № 2018617777 от 02.07.2018. М.: Роспатент, 2018.
5. Zaharov I.V., Zabuzov V.S., Kuznecov V.V. Model' funkcionirovaniya rekonfiguriruemoj bortovoj vychislitel'noj sistemy kosmicheskogo apparata v usloviyah ee strukturno-parametriche-skoj degradacii // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. 2018. № 4. S. 176–195. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2018-04/09-Zakharov.pdf>

6. *Zaharov I.V., Zabuzov V.S., Sokolovskij A.N.* Programmnij kompleks dlya racional'nogo vybora neodnorodnoj ierarhicheskoj struktury vychislitel'noj sistemy i ee konfiguracij na osnove geneticheskikh algoritmov / Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii PrEVM, reg. № 2018614368 ot 04.04.2018. M.: Rospatent, 2018.
7. *Zaharov I.V.* Model' perestraivaemoj bortovoj vychislitel'noj sistemy v usloviyah vozmozhnoj degradacii // Trudy VKA imeni A.F. Mozhajskogo. № 658. SPb.: VKA, 2017. S. 144–152.
8. *Zaharov I.V.* Racional'nyj vybor struktur i konfiguracij neodnorodnyh vychislitel'nyh sistem pri pomoshchi evolyucionnogo poiska // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz, upravlenie". 2018. Vyp. 1. S. 85–90.
9. *Zaharov I.V., Terekhov V.G.* Primenenie geneticheskikh algoritmov k zadacham postroeniya bortovyh vychislitel'nyh sistem i upravleniya ih funkcionirovaniem // Estestvennye i tekhnicheskie nauki. № 8 (110). M.: Sputnik+, 2017. S. 92–95.
10. *Kalinichenko S.V., Kotikov P.E., Nechaj A.A.* Reshenie replikacionnyh problem v bazah dannyh dlya povysheniya ustojchivosti programmnoho obespecheniya avtomatizirovannyh sistem // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2017. Vyp. 4. S. 18–21.
11. *Nechaj A.A., Kop'ev A.I.* Metod upravlyaemogo raspredeleniya resursov mezhdru yadrami processora // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2018. Vyp. 2. S. 101–107.
12. *Nechaj A.A., Kotikov P.E.* Aktual'nye problemy zashchity informacii v sovremennyh avtomaticheskikh telefonnyh stanciyah // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2015. Vyp. 2. S. 65–69.
13. *Svinarchuk A.A., Nechaj A.A.* Ispol'zovanie kvantovyh vychislenij pri vybore upravlencheskogo resheniya // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2018. Vyp. 2. S. 31–36.
14. *Shirobokov V.V., Nechaj A.A.* Algoritm planirovaniya energosberegayushchej parallel'noj obrabotki informacii s uchetom informacionnoj vazhnosti i vremeni postupleniya zadach // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2017. Vyp. 1. S. 88–93.