

А.С. Васильев, И.В. Захаров

**СНИЖЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПОИСКА
СО СТОХАСТИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИЕЙ**

Предложен способ существенного снижения трудоемкости эволюционного поиска при решении задач комбинаторной оптимизации большой размерности со стохастической целевой функцией. Способ заключается в управляемом изменении дисперсии оценочной функции в процессе поиска. *Ключевые слова:* эволюционный поиск, стохастическое программирование, генетический алгоритм, комбинаторная оптимизация, трудоемкость поиска.

A.S. Vasil'ev, I.V. Zakharov

**REDUCING THE COMPLEXITY OF EVOLUTIONARY SEARCH
WITH STOCHASTIC OBJECTIVE FUNCTION**

A method for significantly reducing the complexity of evolutionary search in solving large-dimensional combinatorial optimization problems with stochastic objective function is proposed. The method consists in a controlled change in the variance of the evaluation function in the search process.

Keywords: evolutionary search, stochastic programming, genetic algorithm, combinatorial optimization, search complexity.

Введение

Решение задачи комбинаторной оптимизации путем полного перебора возможных решений на практике зачастую оказывается неприемлемым, что обусловлено прежде всего значительной мощностью множества решений, трудоемкостью точного вычисления целевой функции на основе имитационно-аналитических моделей и временными затратами на получение статистических оценок качества решения. Современные приближенные алгоритмы комбинаторной оптимизации, в частности методы эволюционного поиска [1; 4], позволяют получать удовлетворительные решения за адекватное время, однако вопрос снижения их вычислительной трудоемкости для ряда прикладных задач стоит по-прежнему остро [3; 5; 9].

Сущность подхода

Предлагаемый подход рассмотрим применительно к генетическому алгоритму [1]. В случае стохастической целевой функции (что обусловлено имитационным аспектом моделирования исследуемого объекта [6; 8]) его наиболее трудоемким этапом является получение оценочной функции (так называемой фитнес-функции), требующее многократного вычисления значений целевой функции при помощи реализации имитационно-аналитической модели. Поэтому ключевым звеном, позволяющим обеспечить удовлетворительную для практических задач скорость сходимости алгоритма, является обоснование числа ее реализаций при построении оценочной функции [1]. Коэффицици-

ент вариации оценочной функции, зависящий от числа реализаций целевой функции, определяет не только ошибку ее оценки, но также результативность и скорость сходимости алгоритма, влияя на вероятность отбраковки «перспективных» решений. Поэтому существенно уменьшить вычислительную трудоемкость поиска возможно за счет более грубой оценки математического ожидания оценочной функции на начальных стадиях работы алгоритма, резко сокращая количество вычислений целевой функции, и более детальной на завершающих, обеспечивая точность результата [2; 7].

Таким образом, встает вопрос о снятии противоречия между трудоемкостью и точностью поиска путем обоснования переменного коэффициента V_n вариации оценочной функции. Для генетического алгоритма поиска конфигураций вычислительных структур в [1] он определен выражением

$$V_n = V_0 - \frac{N_p}{n}(V_0 - V_\Delta), \quad (1)$$

где n – номер «поколения» (итерации) генетического алгоритма; V_0 – коэффициент вариации целевой функции; V_Δ – коэффициент вариации оценочной функции для последнего (с номером N_p) поколения, определяющий точность решения.

При этом суммарное количество вычислений целевой функции в ходе поиска, выступающее мерой его трудоемкости, составляет

$$\Upsilon = \sum_{n=1}^{N_p} \left(\frac{V_0}{V_n} \right)^2. \quad (2)$$

Параметры алгоритма при этом подбираются исходя из максимизации показателя относительной результативности поиска

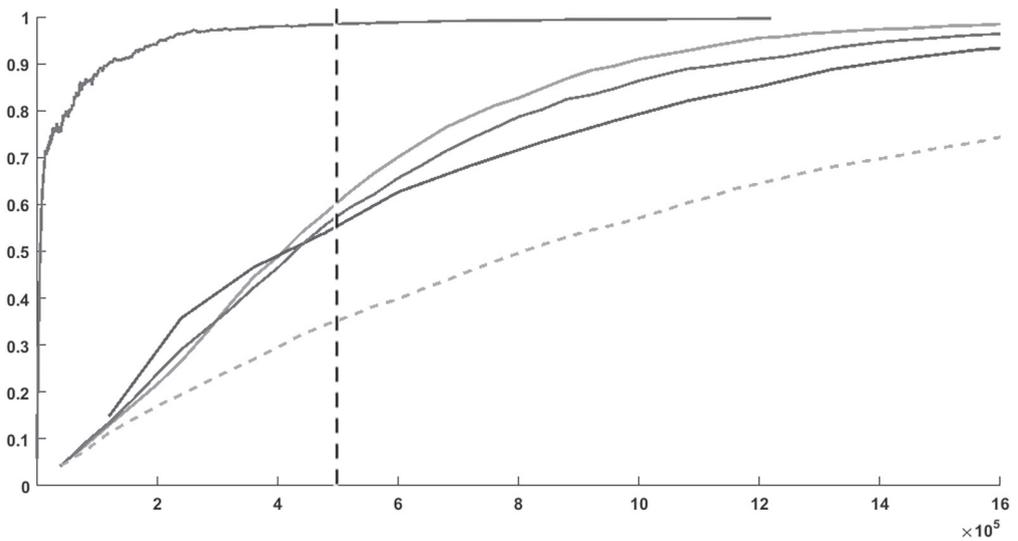
$$\psi = \varphi P_\gamma, \quad (3)$$

где φ – показатель средней относительной близости получаемого решения к оптимальному по значению оценочной функции; P_γ – вероятность «успеха» поиска, когда $\varphi \geq \gamma$, где γ – априори заданная величина приемлемого отклонения.

Пример

Приведем результаты статистического исследования, демонстрирующие сравнительную эффективность предложенного подхода на примере выбора рациональных конфигураций перестраиваемой вычислительной системы [1]. В рассмотренном случае оценка общего количества формализуемых вариантов решений составляла около $4 \cdot 10^4$, а заданное ограничение по трудоемкости поиска соответствовало $\Upsilon_0 = 4,8 \cdot 10^5$. Графики, иллюстрирующие пример зависимости показателя результативности поиска от его вычислительной трудоемкости, приведены на рисунке, где график «1» соответствует слепому поиску по методу Монте-Карло, «2»–«4» – традиционным процедурам генетического поиска с различной настройкой алгоритма, «5» – предложенному способу. Так, применение разработанного способа позволило отыскать квазиоптимальные решения, соответствующие с вероятностью 0,9 относительному значению целевой функции не менее 0,95 с выигрышем по времени около 8 раз (для 0,9 – около 12 раз).

Васильев А.С., Захаров И.В. Снижение трудоемкости эволюционного поиска...



Пример зависимости показателя результативности поиска на базе генетического алгоритма от его вычислительной трудоемкости

Заключение

В литературе вопросы использования стохастической оценочной функции и изменения ее дисперсии в процессе работы генетического алгоритма в явном виде широко не рассматривались. Новизна предложенного подхода заключается в изменении количества вычислений целевой функции с ростом номера поколения, соответствующем снижению коэффициента вариации оценочной функции. Данный способ обеспечивает существенное снижение вычислительной трудоемкости эволюционного поиска, что позволяет расширить границы его эффективного использования в прикладных целях.

Литература

1. Басыров А.Г., Захаров И.В., Шушаков А.О. Метод выбора структуры неоднородной иерархической информационно-вычислительной системы на основе генетического алгоритма // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2018. № 665. С. 14–24.
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. № 2. С. 63–67.
3. Васильев А.С., Ширококов В.В. Планирование функционально-распределенных информационных процессов в перспективных орбитальных группировках микроспутников // Известия Тульского государственного университета. Серия: Технические науки. 2018. Вып. 10. С. 525–529.
4. Курейчик В.В., Курейчик В.М., Родзин С.И. Теория эволюционных вычислений. М.: Физматлит, 2012. 260 с.
5. Нечай А.А., Борисов А.А., Борисова Ю.И. Точечный анализ данных дистанционного зондирования земли средствами языка программирования Python // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2019. № 1. С. 49–55.

6. 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. № 2. С. 101–107.
7. Полончик О.Л., Артюшкин А.Б., Нечай А.А., Полончик Е.О. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли на базе спутников со стабилизацией вращением // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2017. № 1. С. 35–41.
8. Свинарчук А.А., Нечай А.А. Использование квантовых вычислений при выборе управленческого решения // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2018. № 2. С. 31–36.
9. Шаймарданов А.М., Нечай А.А., Лепехин С.В. Математические модели систем автоматического управления с широко-импульсной модуляцией // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2019. № 2. С. 27–39.

Literatura

1. Basyrov A.G., Zakharov I.V., Shushakov A.O. Metod vybora struktury neodnorodnoj ierarkhicheskoj informatsionno-vychislitel'noj sistemy na osnove geneticheskogo algoritma // Trudy Voenno-kosmicheskoy akademii imeni A.F. Mozhajskogo. 2018. № 665. S. 14–24.
2. Borisov A.A., Krasnov S.A., Nechaj A.A. Tekhnologiya blokchejn i problemy ee primeneniya v razlichnykh informatsionnykh sistemakh // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2018. № 2. S. 63–67.
3. Vasil'ev A.S., Shirobokov V.V. Planirovanie funktsional'no-raspredelennykh informatsionnykh protsessov v perspektivnykh orbital'nykh gruppировках mikrosputnikov // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki. 2018. Vyp. 10. S. 525–529.
4. Kurejchik V.V., Kurejchik V.M., Rodzin S.I. Teoriya evolyutsionnykh vychislenij. M.: Fizmatlit, 2012. 260 s.
5. Nechaj A.A., Borisov A.A., Borisova Yu.I. Tochechnyj analiz dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli sredstvami yazyka programirovaniya Python // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2019. № 1. S. 49–55.
6. Nechaj A.A., Kop'ev A.I. Metod upravlyaemogo raspredeleniya resursov mezhdu yadrami protsessora // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2018. № 2. S. 101–107.
7. Polonchik O.L., Artyushkin A.B., Nechaj A.A., Polonchik E.O. Radiolokatsionnye sistemy distantsionnogo zondirovaniya zemli na baze sputnikov so stabilizatsiej vrashcheniem // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2017. № 1. S. 35–41.
8. Svinarchuk A.A., Nechaj A.A. Ispol'zovanie kvantovykh vychislenij pri vybore upravlencheskogo resheniya // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2018. № 2. S. 31–36.
9. Shajmardanov A.M., Nechaj A.A., Lepekhin S.V. Matematicheskie modeli sistem avtomaticheskogo upravleniya s shirotno-impul'snoj modulyatsiej // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2019. № 2. S. 27–39.