

МЕТОДЫ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Рассматривается общая характеристика и основные особенности эволюционных вычислений, приводится их обобщенный алгоритм. Рассматриваются методы воспроизводства и отбора индивидуумов в эволюционных вычислениях.

В области эволюционных вычислений (Evolutionary Computation - EC) важное значение имеют задачи, связанные с моделированием процессов возникновения живых организмов и использованием полученных знаний при разработке технических систем.

В процессе эволюционных вычислений выполняется поиск решения проблемы на основе отбора из большого числа решений – кандидатов. При этом многократно выполняются отбор лучших решений из множества кандидатов, модификация элементов отобранного множества и создание новых решений – кандидатов для тестирования.

Эволюционные вычисления возникли на основе исследований по искусственному интеллекту. Одна из первых основополагающих работ в области EC [1] рассматривала вопросы эволюции конечных автоматов при решении задач машинного обучения. В 1975 году Дж. Холланд в своей книге “Адаптация в естественных и искусственных системах” [2] предложил генетический алгоритм. В середине 70-х годов немецкие ученые И.Рехенберг, Г.П.Швефель [3] разрабатывали эволюционные стратегии. В 1992 году Дж. Коза [4] рассмотрел вопросы использования эволюционных подходов для автоматической генерации программ. Эти работы легли в основу главных направлений разработки эволюционных алгоритмов.

В эволюционных вычислениях используются многие методы и терминология генетики, клеточной биологии, эволюционной теории.

В EC решение – кандидат обычно называется **индивидуумом**. Текущий набор индивидуумов в системе называется **популяцией**.

Популяция индивидуумов иногда, в зависимости от природы рассматриваемой проблемы, может разбиваться на несколько **субпопуляций**.

Код, описывающий каждое индивидуальное решение, называется **геномом** (или **хромосомой**).

Генотип индивидуума – это способ представления решения в процессе его модификации.

Фенотип индивидуума описывает способ действий индивидуума (решения) в процессе тестирования в проблемной области.

Размножение – это процесс создания новых индивидуумов на основе изменения существующих. В процессе тестирования определяется уровень качества индивидуума (т.е. решения) – его **приспособленность (fitness)**.

Интервал, в течение которого вычисляется и назначается приспособленность каждого индивидуума, называется **интервалом оценки приспособленности**.

Популяция, в которой все индивидуумы в процессе моделирования эволюции заменены их потомками, называется **новым поколением (next generation)**.

Весь процесс нахождения оптимума называется **эволюцией решения**.

1.Обобщенный алгоритм эволюционных вычислений

Обобщенный алгоритм эволюционных вычислений включает в себя следующие основные шаги:

1. Создание начальной популяции.
2. Оценка приспособленности каждого индивидуума популяции.

3. Проверка достижения критерия сходимости. Критериями сходимости обычно являются заданное значение функции приспособленности либо заданное количество итераций. Если критерий сходимости достигнут, то работа алгоритма завершается.

4. Отбор индивидуумов – кандидатов в новую популяцию.

5. Создание новой популяции индивидуумов методами воспроизводства индивидуумов.

6. Переход к шагу 2, на следующий уровень итерации.

В настоящее время существует два основных высокоуровневых метода в эволюционных вычислениях: традиционный, основанный на полной смене поколений (*generational*), и новый – установившихся поколений (*steady-state*)[5].

Метод смены поколений характеризуется следующими особенностями. Начальная популяция индивидуумов создается случайным образом, после чего вычисляется приспособленность каждого индивидуума популяции. Лучшие индивидуумы отбираются для размножения, формируя новую популяцию. Новая популяция заменяет старую, и снова вычисляется значение приспособленности индивидуумов. Процесс повторяется до тех пор, пока не будет получен индивидуум с желаемыми характеристиками (наивысшим значением приспособленности) либо будут исчерпаны все доступные ресурсы.

Метод установившихся поколений использует те же основные шаги, что и метод смены поколений. Отличие состоит в том, что в новую популяцию помещаются как вновь созданные индивидуумы, так и индивидуумы из старой популяции. Индивидуумы – “родители” сосуществуют в новой популяции вместе с индивидуумами – “детьми”.

2. Методы воспроизводства индивидуумов

Процесс отбора индивидуумов в новую популяцию включает в себя циклическое повторение следующих трех шагов:

- отбор одного или двух индивидуумов из старой популяции,
- модификация отобранных индивидуумов,
- добавление результатов модификации к новой популяции.

В настоящее время используются шесть методов воспроизводства индивидуумов[5] – три основных: репродукция, кроссинговер и мутация, а также три их комбинации: кроссинговер и мутация, кроссинговер со случайным индивидуумом и отбор одного потомка в результате кроссинговера.

Метод **репродукции** индивидуумов предусматривает простое копирование индивидуума из старой популяции в новую.

Метод **кроссинговера** основывается на скрещивании хромосом двух отобранных из старой популяции индивидуумов (в общем случае в некоторой случайной точке кроссинговера). В новую популяцию помещаются оба получившихся индивидуума.

Метод **мутации** предполагает случайное изменение одного из элементов генома индивидуума, после чего модифицированный индивидуум помещается в новую популяцию.

Метод **кроссинговера и мутации** предусматривает отбор двух индивидуумов из старой популяции, их скрещивание и мутацию каждого из получившихся индивидуумов. В новую популяцию помещаются оба индивидуума.

Метод **кроссинговера со случайным индивидуумом** предназначен для добавления нового генетического материала в популяцию. В соответствии с этим методом выполняется скрещивание двух индивидуумов: отобранного из старой популяции и случайным образом сгенерированного. Из получившихся в результате скрещивания двух индивидуумов один помещается в новую популяцию, а второй отбрасывается.

Метод **отбора одного потомка** в результате кроссинговера моделирует поведение особей в живой природе. Он отличается от метода кроссинговера тем, что после скрещивания двух отобранных индивидуумов из старой популяции один потомок помещается в новую популяцию, а второй отбрасывается.

3. Методы отбора индивидуумов

Отбор индивидуумов S_k в эволюционных вычислениях выполняется в соответствии со значением функции приспособленности $f(S_k)$; $k = 1, \dots, n$; n – размер популяции. Значение функции $f(S_k)$ в большинстве случаев представляет собой число с плавающей точкой, которое отражает уровень успеха каждого индивидуума в решении поставленной задачи. В качестве примера можно привести стандартизованную приспособленность f_i^s [5], определенную на интервале $[0; +\infty)$, где 0 представляет собой оптимальное, а ∞ – значение худшее, чем наихудшее из всех возможных значений приспособленности. Нормализованная пригодность

$$f_i^a = \frac{1}{1 + f_i^s}$$

преобразует значения пригодности в интервал $(0; 1]$, где 0 – значение пригодности хуже, чем худшее из возможных, а 1 – оптимальное значение.

Существуют следующие методы отбора индивидуумов:

- 1) отбор пропорционально значению функции пригодности,
- 2) ранжированный отбор,
- 3) турнирный отбор,
- 4) отбор на основе усечения,
- 5) многокритериальный отбор.

Метод отбора пропорционально значению функции пригодности был предложен в работе [2]. В соответствии с этим методом выполняется нормализация значений функции приспособленности для всех индивидуумов популяции. Эти нормализованные значения используются в качестве вероятностей при отборе индивидуумов в новую популяцию.

В соответствии с методом ранжированного отбора [6] индивидуумы сортируются в соответствии со значением их пригодности. Затем каждый индивидуум отбирается с вероятностью, основанной на некоторой линейной функции от отсортированной последовательности.

Метод турнирного отбора основан на случайном выборе из популяции пула из n индивидуумов, причем индивидуумы могут отбираться в пул за несколько раз. Затем из пула отбирается в новую популяцию индивидуум с наивысшим значением функции приспособленности [5].

В соответствии с методом отбора на основе усечения из популяции отбирается только заданное количество лучших индивидуумов. Каждая из отобранных особей используется для создания индивидуумов следующего поколения [3].

В настоящее время существует три подхода к многокритериальному отбору в задачах эволюционного моделирования [7]:

- отбор по критериям,
- агрегативный отбор,
- отбор по Парето.

В соответствии с первым подходом переключение между критериями выполняется во время фазы отбора. Каждый раз, когда очередной индивидуум выбирается для репродукции, выполняется отбор по иному критерию.

Агрегативный отбор основан на традиционном подходе к задачам многокритериальной оптимизации, в соответствии с которым различные критерии объединяются в единую параметризованную функцию. Параметры результирующей функции систематически изменяются во время моделирования для того, чтобы найти оптимальное по Парето решение.

Отбор по Парето основан на прямом использовании отношения доминирования. Считается, что один индивидуум доминирует над вторым, если он превосходит второй индивидуум по всем критериям.

Рассмотренные подходы эволюционных вычислений обладают двумя важными свойствами:

– распределение промежуточных решений по всему пространству поиска и, следовательно, распараллеливание поиска;

– произвольные изменения и рекомбинации промежуточных решений в пространстве поиска, которые позволяют решать ряд достаточно сложных, плохо формализуемых задач. Основные проблемы, возникающие при использовании эволюционных вычислений, заключаются в эффективной реализации описания хромосом индивидуумов популяции, а также функции приспособленности индивидуумов.

4. Использование эволюционных вычислений для создания функционального программного обеспечения информационных систем

Проектирование сложных информационных систем и их элементов является длительным процессом, связанным с большими материальными и трудовыми затратами, причем сам процесс проектирования требует четкой взаимосвязи и согласования всех разрабатываемых элементов. Задающим элементом всего процесса проектирования является функциональная структура системы, определяющая все множество функций, реализуемых системой. Для ее реализации создается соответствующее множество обеспечений, в частности функциональное программное обеспечение (ФПО).

ФПО информационной системы в процессе ее создания и эксплуатации претерпевает революционные и эволюционные изменения. Революционные изменения радикально преобразуют ФПО, однако при правильном проектировании системы потребность в них возникает достаточно редко. Основной объем затрат приходится, как правило, на эволюционные изменения.

Разработка и сопровождение ФПО предполагают решение следующих основных задач:

1. “Выведение” исходной структуры программного обеспечения на основе эволюционных методов. Процесс такого “выведения” основывается на использовании рассмотренных методов воспроизводства индивидуумов. Каждый индивидуум популяции кодирует один вариант структуры ФПО.

2. Автоматизированное создание элементов ФПО. В процессе решения данной задачи методы воспроизводства применяются непосредственно к тексту прикладных программ.

3. Адаптация разработанного ФПО в процессе эксплуатации информационной системы. Реализация данной задачи основана на последовательном применении генетических операторов к одному индивидууму – существующему варианту ФПО.

Список литературы: 1. Fogel L. J., Owens A. J. and Walsh M. J. Artificial Intelligence through Simulated Evolution. New York: John Wiley, 1966. 2. Holland J. Adaption in Natural and Artificial Systems. University of Michigan Press, 1975. 3. Schwefel H.-P. Numerische Optimierung von Computer-Modellen mittels der Evolutionsstrategie (“Numeric Optimization of Computer Models by Means of an Evolution Strategy”), Interdisciplinary System Research, Volume 26. Basel: Birkhauser, 1977. 4. Koza J. R. Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1992. 5. Luke, Sean. Issues in Scaling Genetic Programming: Breeding Strategies, Tree Generation, and Code Bloat. Ph.D. Dissertation, Department of Computer Science, University of Maryland, College Park, Maryland, 2000. 6. Grefenstette J.J. and Baker J. E. How genetic algorithms work: a critical look at implicit parallelism. In Schaffer, J. D., ed., *Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms*, 20–27, 1989. 7. Zitzler E., Deb K., and Thiele L. Comparison of multiobjective evolutionary algorithms: Empirical results, Tech. Rep. 70, Computer Engineering and Networks Laboratory (TIK), Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, Gloriastrasse 35, CH-8092 Zurich, Switzerland, February 1999.

Поступила в редколлегию 31.01.2001

Левыкин Виктор Макарович, д-р техн. наук, директор института КИТ ХТУРЭ. Научные интересы: методологии и технологии проектирования крупномасштабных ИУС. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 40-93-37.

Чалый Сергей Федорович, канд. техн. наук, доцент кафедры искусственного интеллекта ХТУРЭ. Научные интересы: эволюционное моделирование. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр.Ленина,14, тел. 40-93-35.

Селеснев Сергей Николаевич, студент группы ИИС-96-1 ХТУРЭ. Научные интересы: эволюционное моделирование, генетическое программирование. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 40-93-37.

УДК 681.325:519.713

Автоматні моделі справної поведінки цифрових приладів / Хак Х.М. Джахірул // АСУ та прилади автоматики. 2001. Вип. 114. С. 60-68.

Запропонована модель та алгоритм моделювання справної поведінки цифрових приладів, орієнтований на реалізацію трійникового синхронного ітеративного аналізу проєктованих дискретних об'єктів.

Табл. 1. Іл. 1. Бібліогр.: 8 назв.

UDC 681.325:519.713

State Machine Fault Free Models of Digital Devices / Haque H.M. Jahirul // Management Information System and Devices. All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2001. № 114. P. 60-68.

The method and algorithm of fault-free simulation of digital devices, oriented to implementation of ternary synchronous event-driven iterative analysis of designed discrete objects are offered.

Table 1. Fig. 1. Ref.: 8 items.

УДК 519.711

Методи еволюційних обчислень / В.М.Левикін, С.Ф.Чалий, С.М.Селезньов // АСУ та прилади автоматики. 2001. Вип. 114. С. 69-72.

Розглянуто загальну характеристику та головні особливості еволюційних обчислень. Наведено узагальнений алгоритм еволюційних обчислень. Розглянуто методи репродукції та відбору індивідуумів в еволюційних обчисленнях.

Бібліогр.: 7 назв.

UDC 519.711

Methods of evolutionary computation V.M.Levykin, S.F.Chaliy, S.N.Seleznyov // Management Information System and Devices. All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2001. № 114. P. 69-72.

The common characteristic and main features of evolutionary computation is considered. The generalized algorithm of evolutionary computation is reduced. The methods of reproduction and selection of individuals in evolutionary computation are surveyed.

Ref.: 7 items.

УДК 681.513.6

Про один адаптивний алгоритм оцінювання параметрів 2-D моделей / С.В. Попов // АСУ та прилади автоматики. 2001. Вип. 114. С. 73-76.

Широкого використання в задачах обробки стохастичних полів спостережень на основі 2-D підходу здобув рекурентний метод найменших квадратів, але він є малоефективним у разі нестационарності параметрів поля. У роботі запропоновано новий адаптивний алгоритм оцінювання параметрів зі скалярним коефіцієнтом підсилювання, що має кращі властивості, і доведена його збіжність. Теоретичні висновки підтверджені результатами імітаційного моделювання.

Іл. 1. Бібліогр.: 8 назв.

UDC 681.513.6

On an adaptive algorithm for 2-D models parameters estimation / S.V. Popov // Management Information System and Devices. All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2001. N 114. P. 73-76.

In the problems of stochastic observation fields processing based on 2-D approach, recursive least squares estimation algorithm is widely used. Unfortunately it is not effective in the case of nonstationary field's parameters. In this paper, new adaptive estimation algorithm with scalar gain factor is introduced that has better following properties and its convergence is proved. Theoretical conclusions are validated by simulation results.

Fig. 1. Ref.: 8 items.

УДК 681.322

Концепція програмно-інформаційної підтримки гіпертекстового учбового матеріалу для дистанційного навчання / Б.Г. Шеховцов, О.С. Шкіль, І.М. Піженко, Д.Ю. Шмаїн // АСУ та прилади автоматики. 2001. Вип. 114. С.77-81.

Наведено скорочений аналіз становища, що виникло у зв'язку з розвитком технологій дистанційного навчання і необхідністю створення якісного електронного учбового матеріалу. Розглянута концепція побудови учбового матеріалу теоретичного зайняття з методичної точки зору та дано практичні ідеї щодо їх реалізації. Описана модель учбового процесу при дистанційному навчанні з використанням гіпертекстових учбових матеріалів.

Бібліогр.: 5 назв.