

УДК 681.3(07)

А.А. Брюховецкий, доцент, канд. техн. наук,**А.В. Скатков, профессор, д-р техн. наук***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33 г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: a.alexir@mail.ru***ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ИСКУССТВЕННЫХ ИММУННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МНОГОМЕРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ**

Рассматривается задача решения систем алгебраических уравнений с использованием моделей искусственных иммунных систем как задача многомерной оптимизации. Представлен метод и алгоритм решения задачи, базирующийся на операторах клонирования, мутации и негативной селекции.

Ключевые слова: *аффинность, антитело, процедура клонирования, мутация, селекция.*

Искусственные иммунные системы (ИИС) определяются как метафоры или абстракции разрабатываемых вычислительных систем, использующих иммунологические механизмы и теории [1]. До недавнего времени модели иммунных систем предназначались в основном для исследования биологических аспектов иммунной системы, чтобы как можно лучше и глубже понять их поведение и таким образом содействовать развитию биологической науки [2]. Иммунная система представляет большой интерес для специалистов в области информатики, так как она является примером мощных и гибких возможностей децентрализованной обработки информации [3]. В настоящий момент возрос интерес к разработке ИИС для решения прикладных вычислительных задач, таких как распознавание образов, классификация, идентификация систем и др. Решение многих из перечисленных задач сводится к решению задач многомерной оптимизации. Поэтому разработка методов решения подобных задач, базирующихся на моделях ИИС, является актуальной.

ИИС оперирует данными, которые описывают свойства отдельного антитела. Каждое антитело представляет собой одно решение поставленной задачи. В классическом варианте задачи оптимизации сводятся к поиску решений в многомерном пространстве с наперед заданной целевой функцией. В случае искусственной иммунной системы антитела представляют собой вектор переменных, при подстановке которых в целевую функцию достигается оптимальное значение. В качестве скалярной величины оценки, показывающей близость результата к оптимальному значению, в ИИС используется понятие аффинности антитела. В зависимости от того решается ли задача максимизации или минимизации, лучшим по популяции считается антитело с самым высоким или низким значением аффинности соответственно. Аффинность антител – главный критерий отбора индивидуумов. Иммунные алгоритмы являются очень мощным средством комбинаторного поиска, которые строят свое решение на основе перебора многочисленных вариантов последовательностей из n -переменных системы и отбора лучших из них.

Целью настоящей работы является разработка метода решения системы алгебраических уравнений на основе ИИС, в котором целенаправленный поиск локального экстремума сочетается с возможностью поиска глобального экстремума. Метод нахождения оптимального решения базируется на использовании операторов клонального отбора, мутации и негативной селекции. Каждое из антител оценивается мерой пригодности согласно тому, насколько “хорошо” соответствующее ей решение задачи. Наиболее подходящие антитела получают возможность “воспроизводить” потомство с помощью гипермутации. Это приводит к появлению новых антител, которые в процессе гипермутации улучшают своё соответствие целевой функции. Антитела с худшей аффинностью замещаются случайно сгенерированными антителами, равномерно распределенными по всей области определения целевой функции, что позволяет не замыкаться на локальных экстремумах, а исследовать все пространство области определения целевой функции. Таким образом, происходит итеративный процесс воспроизведения новых популяций из лучших представителей предыдущего поколения. Каждое новое поколение содержит более высокое соотношение характеристик, которыми обладают лучшие члены предыдущих поколений.

Метод решения. Существующие на сегодняшний день методы решения систем алгебраических уравнений не являются в достаточной степени универсальными, так как, согласно условиям их использования, система уравнений должна удовлетворять различным требованиям, ограничивающим область применения того или иного метода [4]. Поэтому решение системы алгебраических уравнений будем рассматривать как решение задачи многомерной оптимизации.

В общем виде систему алгебраических уравнений будем представлять следующим образом:

5. Получить популяцию измененных клонов с помощью механизма мутации. Для каждого параметра $\bar{x}_i$, будем оценивать два значения Δq_{ji} при $x_i = x_i + h_i$ и $x_i = x_i - h_i$ для всех $j = 1, n$: $\Delta q_{ji} = \sum_j q_{ji}^{t+1} - \sum_j q_{ji}^t$. Из двух значений x_i выбираем то, для которого $\Phi(q) \rightarrow \min$. В результате применения данной процедуры ко всем x_i , для которых улучшено значение аффинности, будут выбраны направления h_i мутации антитела и вычислено значение аффинности $\Phi(q)$ на t -ой итерации. Соответствующие признаки p_i устанавливаются в единицу – $p_i = 1$. Признак стимулируемости антитела становится равным $\text{Aff} = \sum_i p_i$.
6. Заменить в исходной популяции антитело новым клоном. Сформировать второй клон путем изменения параметров x_i , по которым получено улучшение аффинности по правилу: $x_i = x_i + h_i/2$. Вычислить аффинность клона. Добавить данный клон в популяцию клонов P_c . Повторить пп.5,6 алгоритма для всех k антител.
7. Объединить исходную измененную и сформированную популяцию клонов: $P_t = P_t \cup P_c$. Выполнить п.3 алгоритма.
8. Проверить условия окончания алгоритма: $\Phi(q) \leftarrow \varepsilon$ или $t + 1 = T$. Если выполнено первое, то решение найдено, если – второе, то при заданной ε и числе итераций T решения не получено. Иначе переход на п.9.
9. Выполнить операцию негативной селекции. Удалить из популяции нестимулируемые антитела, у которых значение $\text{Aff} = 0$. Если множество P_t оказалось пустым, то перейти на п.1 алгоритма. Иначе – пусть число оставшихся антител будет k_c . Если $k_c > N$, то удалить из популяции $(k_c - N) + d$ антител с худшей аффинностью и заменить их новыми сгенерированными антителами. В противном случае, если $(N - k_c) > d$, то сгенерировать $(N - k_c)$ антител, иначе обновляются d худших антител. При этом $k + d < N$. Выполнить п.2 для вновь сгенерированных антител.
10. $t = t + 1$, переход на п.3 алгоритма.

В процессе мутации параметра x_i возможны ситуации, когда x_i не улучшает значение аффинности антитела при заданном h_i . Тогда процедура повторяется для значений $h_i = h_i/(10^s)$, где $s = 1, 2, \dots, w$. Если текущее значение s превышает w , то значение аффинности по параметру x_i не может быть улучшено. Тогда соответствующий признак $p_i = 0$. Если в результате процедуры мутации оказывается, что $\sum_i p_i = 0$, то признак стимулируемости антитела Aff устанавливается в нуль – $\text{Aff} = 0$. Такие антитела будут исключаться из популяции, если их аффинность не удовлетворяет решению. На этапе негативной селекции условие $k + d < N$ означает, что в популяции по прошествии одного поколения могут оставаться неизменными отдельные антитела, а значит, на следующей итерации значение их аффинности может быть улучшено.

Предложенный метод был опробован при решении системы нелинейных уравнений:

$$\begin{cases} x_1 - x_2^2 + 6,35x_2^2 + 3x_3 + x_4 - 5 \cdot x_2 \cdot x_5 - 2 \cdot x_3 - 15 = 0 \\ 2(x_1 - x_2)^2 + 2 \cdot x_2^3 + (x_3 - x_5)^3 + 15 = 0 \\ 3(x_2 - x_3)^2 - (x_2 \cdot x_3 + 1)^2 + 3 \cdot x_5^2 - 2 = 0 \\ 8 \cdot x_1 - 7 \cdot x_2^2 + (3 \cdot x_2 - x_3 \cdot x_4)^2 = 0 \\ x_1 \cdot 2^{x_2} - |1 - x_1|^{3,9} + 5x_3 - 3 \cdot x_4 + 3 \cdot x_5^2 - 1,5^{-x_5} / 2 - 3 = 0. \end{cases}$$

Для заданной точности вычисления значений x_i равной 10^{-5} было получено следующее решение: $x_1 = 0,69883$, $x_2 = -1,90002$, $x_3 = -0,93549$, $x_4 = 1,35102$, $x_5 = 1,51914$. При этом значения q_j ($j = 1, 5$) соответственно составили: 9,95E-05, 4,79E-05, 8,65E-05, 7,21E-05, 8,69E-05, а значение аффинности $\Phi(q) = -7,84175$.

Основное отличие предложенного метода от известного подхода решения систем алгебраических уравнений с использованием ИИС состоит в следующем. Во-первых, при исследовании локального экстремума функции используется целенаправленная мутация параметров, которая улучшает значение аффинности антитела. Во-вторых, предложен механизм, формализующий понятие нестимулируемых антител, т.е. антител, значение аффинности которых не может быть улучшено в области локального экстремума. Такие антитела исключаются из популяции и заменяются новыми, которые вносят разнообразие в исследование пространства в глобальном поиске. Наконец, число антител обновляемых в популяции на этапе негативной селекции является случайным. А это означает, что данный процесс также привносит разнообразие на пути отыскания решения. Таким образом, предложенный алгоритм обеспечивает сбалансированную стратегию нахождения решения на основе лучших антител, которая сочетает в себе локальный и глобальный поиск.

Следующим этапом исследований планируется применение разработанного алгоритма для решения прикладных задач оптимизации, что и составит предмет развития данного направления.

Библиографический список

1. Fogel D. B. Evolutionary Computation: Toward a New Philosophy of Machine Intelligence / D.B. Fogel. — N.Y.: Press, 2000. — 328 p.
2. Белых Л.Н. Анализ математических моделей в иммунологии / Белых Л.Н.; под ред. Г.И. Марчука. — М.: Наука, 1988. — 192 с.
3. De Castro L.N. Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Approach / L.N. De Castro, J. Timmis. — N.Y.: Press, 2002. — 357 p.
4. Гилл Ф. Практическая оптимизация / Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт. — М.: Мир, 1985. — 509 с.
5. Литвиненко В.И. Применение алгоритма клонального отбора для решения систем уравнений / В.И. Литвиненко // Математичні машини і системи. — 2006. — № 3. — С. 117–126.
6. Банди Б. Методы оптимизации / Б. Банди. — М.: Радио и связь, 1988. — 128 с.

Поступила в редакцию 15.02.2010 г.