

## КРИТЕРИЙ ОСТАНОВКИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ

Стремительное развитие вычислительной техники в 20 веке спровоцировало появление большого количества разнообразных имитационных алгоритмов. К таким алгоритмам относится большинство методов искусственного интеллекта, которые основаны на имитации процессов природы при помощи средств компьютерного моделирования.

Для решения задач оптимизации довольно часто используется такой инструмент искусственного интеллекта как генетический алгоритм (ГА). Основными достоинствами этого алгоритма являются:

1. Он не налагает никаких дополнительных ограничений на вид целевой функции;
2. Простая реализация и возможность распараллеливания.

Однако в специализированной литературе по ГА, на взгляд авторов, уделяется недостаточное внимание условию останова. Данная статья посвящена выбору критерия останова для генетического алгоритма, используемого для задач оптимизации автоматических систем. В [1, 2, 3] приводятся несколько критериев останова, для решения задач оптимизации приемлемыми являются следующие:

- Достижение определенного числа поколений;
- Истечение времени отпущенного на эволюцию;
- Схождение популяции.

Первые два критерия не рассматриваются в данной статье, так как подразумевают дополнительные исследования, перед решением задачи. Так же эти критерии подразумевают введение дополнительного параметра (число поколений либо время эволюции), который, скорее всего, индивидуален для каждой задачи.

Рассмотрим более подробно третий критерий. Под сходимостью (*convergence*) в данной статье понимается такое состояние популяции, когда ни операция кроссовера, ни операция мутации не вносят изменения, в течение нескольких поколений, в изменение генетического разнообразия популяции [4]. Для оценки генетического разнообразия популяции используются различные метрики, оценивающие расстояние между особями популяции.

При такой трактовке схождения популяции возникают следующие проблемы:

1. Неизвестно количество поколений достаточное для отслеживания неизменности популяции;
2. Нет четкого определения сошедшейся популяции.

Некоторые исследователи пользуются так же оценкой средней приспособленности популяции, однако одному и тому же значению средней приспособленности могут соответствовать совершенно разные популяции.

Поэтому такой подход неприемлем для большинства задач оптимизации, в которых многим значениям настраиваемых параметров соответствует одно значение критерия оптимизации, и условие схождения популяции может выполняться в случае, когда особи описывают различные точки поиско-

вого пространства. Такая ситуация возможна либо при достижении «плато», в котором оптимизируемая функция не изменяет своего значения по всей поверхности плато, либо при попадании популяции в зону локального экстремума. В том случае если функция имеет глобальный экстремум, расположенный на плато, то за конечное число поколений возможно схождение популяции в одну точку.

Поэтому предлагается в качестве условия останова дополнительно к неизменности средней приспособленности популяции использовать так же и метрику оценивающую различие особей в популяции.

Каждая особь в популяции представляет собой одно из возможных решений задачи и описывается своим генотипом и фенотипом. Под генотипом понимается запись решения в закодированном виде (с помощью 0 и 1), а фенотип представляет собой декодированное решение. Исходя из такого описания возможно определение двух метрик, с помощью которых можно оценить различие особей, для генотипа и для фенотипа.

Для сравнения генотипов особей используется Хеммингово расстояние [5], которое равно количеству различающихся позиций в хромосомах. Часто для вычисления расстояния между особями используют именно Хеммингову метрику, применяемую к генотипу, однако для ее вычисления требуются дополнительные вычислительные мощности, а так же необходимость разработки дополнительной процедуры, которая реализует данные вычисления.

Для сравнения фенотипов воспользуемся Евклидовым расстоянием между декодированными значениями хромосом  $i$ -ой и  $j$ -ой особью:

$$e_{i,j} = \sqrt{\sum_{k=1}^m ((q_k^i)^2 - (q_k^j)^2)}; \quad (1)$$

где  $m$  - количество кодируемых признаков особи (число настраиваемых параметров),  $q_k$  - декодированное значение  $k$ -ого признака.

Так как оператор декодирования однозначно ставит в соответствие набору генов свой фенотип, следовательно, метрики являются эквивалентными. Для вычисления же Евклидова расстояния нет необходимости в реализации отдельной процедуры, так как вычисление фенотипов особей и так реализуется при расчете приспособленности особей.

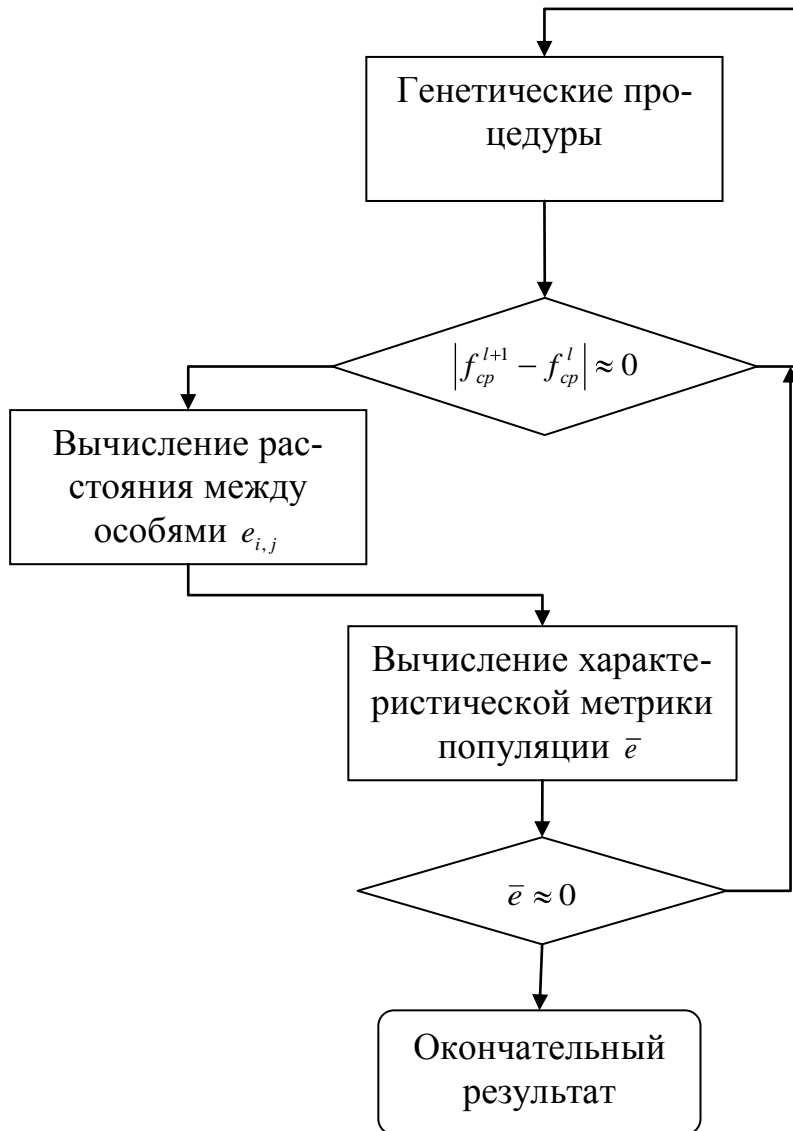
Введем характеристическую метрику популяции, которая будет оценивать различие всех особей в популяции. Эту метрику предлагается рассчитывать по следующей формуле:

$$\bar{e} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sqrt{\sum_{k=1}^m ((q_k^i)^2 - (q_k^j)^2)}}{N}; \quad (2)$$

где  $N$  - количество особей в популяции.

Однако если рассчитывать расстояние на каждом поколении, алгоритм будет довольно требователен к вычислительным ресурсам, поэтому предлагается использовать значение средней приспособленности популяции и лишь при неизменности этой величины применять расчет расстояния между особями.

Таким образом, в качестве критерия останова генетического алгоритма предлагается следующий набор условий:



### Результаты исследования

Проиллюстрируем все вышеизложенное на следующем примере. Пусть необходимо провести параметрическую оптимизацию автоматической системы регулирования (АСР), содержащую ПИД-регулятор, с помощью генетического алгоритма. Решение подобной задачи, таким способом подробно описано в работах [5,6].

Схема АСР представлена на рисунке 1.

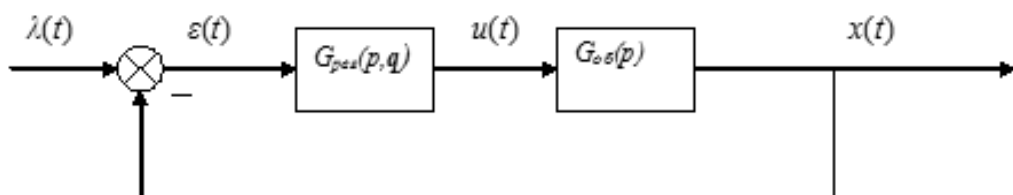


Рис. 1

Процессы, протекающие в системе можно описать следующим образом:

$$\begin{aligned} \varepsilon(t) &= \lambda(t) - x(t); \\ u(t) &= G_{pez}(p, \mathbf{q})\varepsilon(t); \\ x(t) &= G_{об}(p)u(t). \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\lambda(t)$  – задающее воздействие,  $u(t)$  – регулирующее воздействие,  $p = \frac{d}{dt}$  – оператор дифференцирования,  $G_{pez}(p, \mathbf{q})$  – оператор регулятора,  $G_{об}(p)$  – оператор объекта регулирования.

Пусть оператор объекта регулирования  $G_{об}(p)$  задан инерционным звеном второго порядка с запаздыванием:

$$G_{об}(p) = \frac{k_{об}}{(T_{об1}p + 1)(T_{об2}p + 1)} e^{-\tau_{об}p} \quad (4)$$

где  $k_{об}$  – коэффициент передачи объекта регулирования;  $T_{об1}$  и  $T_{об2}$  – постоянные времена;  $\tau_{об}$  – время запаздывания, причем  $\tau_{об}/T_{\max} \approx 1$ , где  $T_{\max} = \max [T_{об1}, T_{об2}]$ . Такой объект регулирования выбран в связи с тем, что большинство технических объектов описываются выражением (4). Оператор регулятора задан ПИД-законом с идеальным дифференцирующим звеном, и таким образом имеет три настраиваемых параметра:  $q_1, q_2, q_3$ .

Критерий оптимизации представлен широко распространенным квадратичным критерием качества регулирования:

$$I = \int_0^L \varepsilon^2(t) dt \rightarrow \min \quad (5)$$

где,  $L$  – длина интервала интегрирования. Входное воздействие  $\lambda(t) = 1(t)$ . Необходимо найти такие значения  $q_1^*, q_2^*, q_3^*$  что бы значение критерия оптимизации (5) было минимальным.

В качестве хромосом в представленной задаче выступают составляющие вектора настраиваемых параметров  $\mathbf{q}$ . То есть каждый из настраиваемых параметров  $q_j, j = 1(1)m$  представляет собой двоичный вектор, декодируя который будем получать вещественное значение данного параметра. Длину хромосомы определяем исходя из конструктивных особенностей регулятора по следующей формуле:

$$L_j = \log_2 \left[ \frac{S_j}{\delta_j} \right];$$

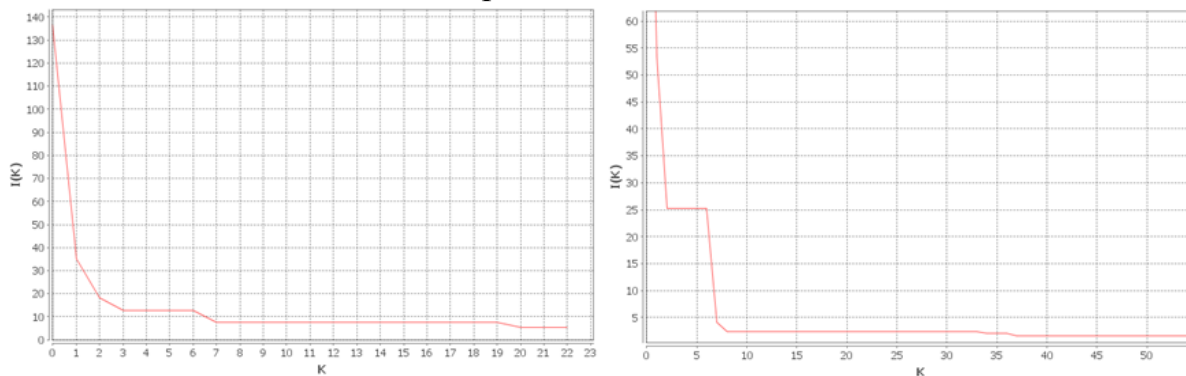
где,  $S_j, j = 1(1)m$  – верхняя граница параметра  $q_j, j = 1(1)m$ , определяемая конструктивными особенностями регулятора, а  $\delta_j, j = 1(1)m$  – шаг изменения параметра  $q_j$ .

Рассмотрим 2 вида наиболее распространенных критериев останова генетического алгоритма применительно к решению данной задачи:

- Предложенный в данной статье;
- Основанный на средней приспособленности по популяции.

В обоих случаях используются одни и те же способы отбора родителей и перехода в следующее поколение. Так же следует отметить, что широко распространенные критерии, ограничивающее количество поколений и требующие предварительных исследований не рассматриваются здесь.

На рисунках 2а и 2б представлены графики зависимости здоровья лучшей особи поколения от номера поколения.



а)

б)

рис.2

На рисунке 2а видно, что эволюция была остановлена рано, и не был найден экстремум функционала (5). На рисунке 2б зависимость значения функционала (5) от количества поколений при предложенном критерии. Видно, что конечное значение функционала гораздо меньше, поэтому можно сделать вывод, что такой критерий останова обеспечивает лучший результат по сравнению с предыдущим.

В заключении можно сказать, что предложенный в статье критерий обладает следующими достоинствами:

- Не имеет параметров, требующих подбора и зависящих от решаемой задачи;
- Позволяет получить приемлемую для практики точность решения;
- Обеспечивает более точное решение и приемлемое быстродействие по сравнению с аналогичными критериями.

Все вышеизложенное позволяет сделать вывод о работоспособности предложенного критерия останова.

### Список литературы

1. Вороновский, Г.К. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности. / Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.Н. Петрашев, С.А. Сергеев. – Харьков: ОСНОВА, 1997. – 112с.
2. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: пер. с польск. И. Д. Рудинского. / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский – М. : Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.: ил.
3. Тим Джонс, М. Программирование искусственного интеллекта в приложениях: пер. с англ. А.И. Осипова / М. Тим Джонс – М. : ДМК Пресс, 2004. – 312 с.: ил.

4. Abdullah Konak, David W. Coit, Alice E. Smith, Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial // Reliability Engineering and System Safety 91(2006) 992-1007.
5. Сабанин В.Р., Смирнов Н.И, Репин А.И. Модифицированный генетический алгоритм для задач оптимизации в управлении / В.Р. Сабанин, Н.И. Смирнов, А.И. Репин – М. Exponenta Pro, 3-4(7-8) 2004.
6. Куцый, Н.Н., Применение генетического алгоритма для оптимизации автоматических систем с ПИД-регулятором / Н.Н. Куцый, Н.Д. Лукьянов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2012. – №6. – С. 6-10 – Библиогр.: с. 10.