

## РАЗДЕЛ 4

## АВТОМАТИКА, КОМПЬЮТЕРНЫЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 519.688

**А.Ю. Венедиктов**

Одесский Национальный политехнический университет, просп. Шевченко 1, г. Одесса, 65044

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ВТОРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ПАРАМЕТРАХ ПЛАЗМЫ С ПОМОЩЬЮ ЭВОЛЮЦИОННЫХ СТРАТЕГИЙ

*В статье рассмотрены вопросы применения эволюционных стратегий для обработки информации получаемой с датчиков параметров плазмы типа зонда с запирающим потенциалом. Дана сравнительная оценка эффективности данного подхода относительно других алгоритмов поиска решения.*

**Ключевые слова:** Плазма – Эволюционная стратегия – Обработка информации

### РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ВТОРИННОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ПАРАМЕТРИ ПЛАЗМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕВОЛЮЦІЙНИХ СТРАТЕГІЙ

*У статті розглянуті питання застосування еволюційних стратегій для обробки інформації одержуваної з датчиків параметрів плазми типу зонда із запираючим потенціалом. Надана порівняльна оцінка ефективності даного підходу щодо інших алгоритмів пошуку рішення.*

**Ключові слова:** Плазма – Еволюційна стратегія – Обробка інформації

### PROBLEM SOLUTION OF SECONDARY DATA CONVERSION ON PLASMA PARAMETERS BY EVOLUTIONARY STRATEGIES

*The questions of applying of evolution strategy to data processing of information that received from retarding potential analyzer are described in this paper. The article presents a comparative evaluation of the effectiveness of this method with respect to other search algorithms solutions.*

**Keywords:** Plasma – Evolution strategy – Data processing.

#### I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из распространённых типов зондов для измерений характеристик низкотемпературной разреженной плазмы являются зонды с запирающим потенциалом (ЗЗП). Данные инструменты позволяют измерять основные характеристики плазмы, такие как плотность, эквивалентная температура и ее ионный состав. ЗЗП широко применяется для исследований космического пространства.

Для вторичного преобразования информации ВАХ ЗЗП получаемой, при измерении, используется параметрический поиск аналитического выражения физической модели соответствующего экспериментальным данным.

Традиционно для параметрического поиска используются полный перебор данных из заданного граничного диапазона, либо метод покоординатного спуска с переменным шагом. Оба метода обеспечивают хорошую сходимость, однако требуют большое количество итераций, и как следствие этого большой объем вычислений. Также для обработки данных применяется метод градиентного спуска, обладающий более быстрой сходимостью. Однако применение указанного ме-

тода сопряжено с существенными проблемами, из-за многоэкстремальности функции. Кроме этого можно отметить, что основной объем вычислений во всех вышеперечисленных методах должен выполняться последовательно, и поэтому практически не поддаются распараллеливанию.

#### II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Одним из решений задачи поиска аппроксимирующей кривой может быть применение эволюционных алгоритмов [1]. Генетический алгоритм с вещественным кодированием хромосом, начальной популяцией, мутациями и скрещиваниями, оптимизированными для решения задачи преобразования ВАХ ЗЗП, был разработан ранее и успешно применён [2]. Дальнейшим развитием обработки данных с помощью упомянутых ранее алгоритмов являются эволюционные стратегии.

После проведения анализа входных данных, представляющих собой набор векторов  $Z(U, I)$ , описывающих вольтамперную характеристику ЗЗП, была сформирована эволюционная стратегия, включающая следующие этапы:

- 1) Инициализация.

На этапе инициализации генерируется начальная популяция из  $a \cdot q$  особей, при этом  $a$  – количество измеряемых точек ВАХ ЗЗП,  $q$  – количество сортов ионов учитываемое в используемой физической модели плазмы. Хромосомы особей кодируются вещественными векторами, при этом начальные значения хромосом генерируются случайным образом по закону равномерного распределения из заданных допустимых диапазонов соответствующих параметров:  $T = 300 : T_{\max}$ ,  $n_j = 1 \cdot 10^5 : n_{j\max}$  [3].

Таким образом мы получаем набор особей в виде векторов из составляющих их хромосом, например для модели с тремя сортами ионов плазмы можно записать:

$$A_1\{T_1, n_{11}, n_{12}, n_{13}\}, A_2\{T_2, n_{21}, n_{22}, n_{23}\}, \dots, A_i\{T_i, n_{i1}, n_{i2}, n_{i3}\}$$

Задаём вероятность мутации хромосомы  $T$  в  $\sigma = 1$ , т.е. в первом поколении мутируют все особи.

## 2) Оценка решения.

Для вычисления функции приспособленности  $Fit_i$  для каждой особи используется среднеквадратичное отклонение экспериментальных данных от физической модели ЗЗП, описываемой следующим выражением:

$$I = e \cdot S \cdot \cos\theta \cdot \alpha \cdot v \cdot \sum_{j=1}^{\infty} n_j \cdot \left[ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \operatorname{erf}(x_j) + \frac{a_j \cdot \exp(-x_j^2)}{2 \cdot \sqrt{\pi} \cdot v \cdot \cos\theta} \right], \quad (1)$$

где  $n_j$  – плотность частиц с массой  $m_j$ ,  $S$  – эффективная площадь коллектора,  $\alpha$  – коэффициент прозрачности сетки,  $\theta$  – угол между направлением входящего потока плазмы и нормалью к плоскости входного отверстия ловушки,  $v$  – параллельная составляющая скорости ионов (проекция на вектор скорости космического аппарата (КА)),  $e$  – заряд электрона.

$x_j(U)$  на участке  $U + \varphi \geq 0$  равно

$$x_j = \frac{1}{a_j} [v \cdot \cos\theta - (2e \cdot (U + \varphi) / m_j)]^{1/2},$$

а на участке  $U + \varphi < 0$

$$x_j = \frac{1}{a_j},$$

где  $a_j = (2 \cdot k \cdot T / m_j)^{1/2}$  – тепловая скорость ионов с массой  $m_j$ ,  $\varphi$  – потенциал корпуса ловушки,  $U$  – запирающее напряжение.

Функция соответствия  $Fit_i$  вычисляется для каждой особи  $A_i$  популяции согласно выражения (1). Таким образом, получаем набор векторов:  $A_1\{T_1, n_{11}, n_{12}, n_{13}, Fit_1\}, A_2\{T_2, n_{21}, n_{22}, n_{23}, Fit_2\}, \dots, A_i\{T_i, n_{i1}, n_{i2}, n_{i3}, Fit_i\}$ ;

Осуществляем генерацию потомков.

### 3.1) Репликация популяции:

Копируем геном существующего поколения получая вектор,  $A'_k\{T_i, n_{i1}, n_{i2}, n_{i3}, Fit_n\}$  дальнейшие операции в пункте 3 производим над вектором  $A'_k$ .

### 3.2) Мутация популяции:

В качестве операторов мутации была применена гауссовская свёртка [4]. Для её осуществления генерируются 2 числа  $D_1, D_2$  с нормальным распределением в диапазоне -1:1, с помощью которых получаем операторы мутаций:

$$M_T = D_1 \cdot 0.5 \cdot T_{\max}, \quad (2)$$

$$M_n = D_2 \cdot 0.5 \cdot n_{\max}, \quad (3)$$

соответственно для хромосомы  $T_k$  и хромосом  $n_{kj}$ .

Применяем оператор мутации к хромосоме  $T$  выбранной копии особи с вероятностью  $\sigma$ .

$$T'_k = T_k + M_T, \quad (4)$$

Применяем оператор мутации случайным образом к одной из хромосом  $n$  копии выбранной особи.

$$n'_{kj} = n_{kj} + M_n, \quad (5)$$

Проверяем, удовлетворяют ли  $T'_k$  и  $n'_{kj}$  условию вхождения в допустимые диапазоны значений. В случае отсутствия их вхождения соответствующая мутация отбрасывается и используется значение хромосомы до мутации.

Таким образом, после применения операторов мутации мы получаем вектор, описывающий потомка, следующего вида:

$$A'_k\{T'_k, n_{k1}, n_{k2}, n'_{k3}\}, \quad (6)$$

### 3.3) Оценка потомства и добавление потомка в популяцию.

Вычисляем среднеквадратичное отклонение полученного в п. 3.2 потомка (6) для последующей селекции по методу описанному в п. 2, получая таким образом вектор

$$A'_k\{T'_k, n_{k1}, n_{k2}, n'_{k3}, Fit'_k\}, \quad (7)$$

Добавляем вектор (7) в популяцию потомков.

3.4) Вычисление вероятности мутации  $\sigma$  для следующей итерации осуществляется по правилу одной пятой [4]. Таким образом, если более 1/5 потомков  $A'_k$  приспособленнее родительской популяции  $A_k$ , то  $\sigma$  увеличивается на 0.1, но не более чем 1, если менее 1/5 потомков  $A'_k$  более приспособлены особей родительской популяции  $A_k$ , то уменьшаем  $\sigma$  на 0.1, но не менее чем до значения 0.1. Если оба условия не выполняются, то оставляем значение  $\sigma$  без изменений.

### 3) Селекция популяций:

4.1 Сортировка популяций в пределах поколений  $A_1, A_2, \dots, A_i, A'_1, A'_2, \dots, A'_i$  по возрастанию значения  $Fit_i$  и  $Fit'_i$  соответственно.

4.2 Отбор особей в популяции и формирование новой популяции  $A_1, A_2, \dots, A_i$ . При этом применяем для 1/8 части родительской и потомственной популяций элитаризма, а для оставшейся части турнирный принцип на основании сравнения  $Fit_i$  и  $Fit'_i$  для последовательно выбираемых особей популяции. Таким образом, конечная популяция состоит из 1/8 особей родительской популяции (лучшие особи популяции), 1/8 особей популяции потомков (лучшие особи популяции) и 3/4 особей полученных турнирным способом.

Данный подход позволяет сохранить лучшие результаты поиска, одновременно обеспечивая генетическое разнообразие популяции, позволяющее предотвратить ее преждевременное вырождение.

Пункты 3–5 повторяются до достижения критериев завершения.

б) Критерии завершения.

А) Достижение в ходе выполнения алгоритма заданного числа поколений. В этом случае обрабатываемый набор помечается как «не опознанный». Эмпирически было установлено, что для обработки ВАХ с заданной точностью в 94% случаях достаточно  $0.5 \cdot a$  поколений, где  $a$  — количество точек используемой для построения опознаваемой ВАХ ЗЗП.

Б) Достижение заданного уровня качества для 1 или более особей в поколении в этом случае обрабатываемый набор помечается как «успешно опознанный».

В) Достижение заданного уровня сходимости, когда число одинаковых особей в поколение превышает половину, но результат ещё не достигнут. Это ведёт к тому, что дальнейшее улучшение будет происходить очень медленно (вырождение популяции), в этом случае производится повторный запуск алгоритма. В случае двухкратного возникновения данной ситуации набор помечается как «не опознанный».

На графике приведена кривая с подобранными параметрами и экспериментальные точки представлены на рисунке 1.

### III ВЫВОДЫ

Рассмотренный метод обработки информации поступающей с ЗЗП имеет преимущество по объёму вычислений в сравнении с методом последовательного перебора и покоординатного спуска не менее чем в 2 раза в случае выбора достаточно малого шага приближения.

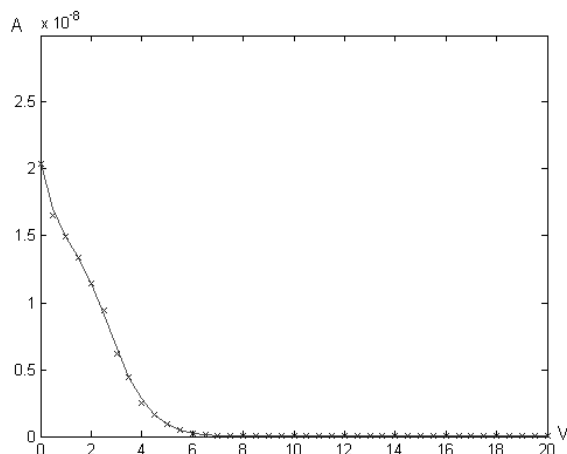


Рисунок 1 – Экспериментальные точки

Сравнивая предложенный алгоритм с решением задачи традиционным генетическим алгоритмом, можно отметить, что метод поиска решения с применением генетической стратегии более предпочтителен по причине многоэкстремальности подбираемой функции, в силу меньшей вероятности получения результата локального минимума в качестве конечного результата при использовании в модели (1) трех и более сортов плазмы. Также можно отметить хорошую возможность параллельного выполнения участков алгоритма с наибольшим объёмов вычислений в частности п. 2 и п.п. 3.3.

Созданный алгоритм планируется использовать для обработки результатов измерений эксперимента на КА «Интергелиозонд».

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М.** Генетические алгоритмы: М, Физматлит, 2010, 320 с.
2. **Николаенко В.М., Венедиктов А.Ю.** Применение генетических алгоритмов в задачах вторичного преобразования параметров плазмы, Холодильная техника и технология, №3 (131), 2011, с. 89-92.
3. **Herrera F., Lozano M., Verdegay J.L.** Tackling real-coded genetic algorithms: operators and tools for the behaviour analysis // Artificial Intelligence Review, Vol. 12, No. 4, 1998. - P. 265-319.
4. **Sean Luke**, Essentials of Metaheuristics, Lulu, Florida, 2009, 230 p.
5. **Гилл Ф., Мюррей У., Райт М.** Практическая оптимизация. Пер. с англ. М.: Мир, 1985. 509стр.