

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

В.Н. Ларионов, Е.А. Акиншин

Возрастающие от года к году требования к точности и степени детализации математических моделей электроустановок делают процесс построения таких моделей чрезвычайно трудоемким [1].

В последнее время широкое распространение получили методы автоматического построения имитационных математических моделей [2].

При этом вид и параметры моделей определяются с помощью методов численной оптимизации на ЭВМ. Минимизации, как правило, подлежит среднее значение функции ошибки, вычисленное на выборке наблюдений о моделируемом процессе или явлении. В качестве функции ошибки, чаще всего, используется среднеквадратичная или суммарная квадратичная ошибки.

Успех применения такой технологии определяется, преимущественно, правильным выбором метода оптимизации. Специфика задачи заключается в том, что рельеф поверхности состояний системы имеет очень сложную форму, с высоким уровнем овражистости, следовательно, велика вероятность нахождения локального минимума. Классические методы оптимизации рассчитаны, в основном, на нахождение одного из минимумов, ближайших к точке начального приближения [3,4,5,6].

Особую актуальность данная проблема приобретает при разработке моделей на основе искусственных нейронных сетей (ИНС). ИНС, благодаря своей способности представлять нелинейные зависимости произвольного вида, являются уникальным механизмом для разработки имитационных моделей сложных установок. Особенно эффективно применение ИНС при разработке моделей для прогнозирования нагрузок. Обратной стороной медали является резко возрастающая сложность задачи выбора оптимальных параметров модели [7].

Одним из наиболее перспективных решений данной проблемы является применение современных методов компьютерного моделирования. В данной

статье будут рассмотрены два из них – метод имитации отжига и эволюционные алгоритмы.

Эволюционные алгоритмы

Генетические (эволюционные) алгоритмы (ГА) – один из наиболее ярких примеров успешного использования биологических моделей в современной технике. В основу функционирования генетического алгоритма положен принцип естественного отбора.

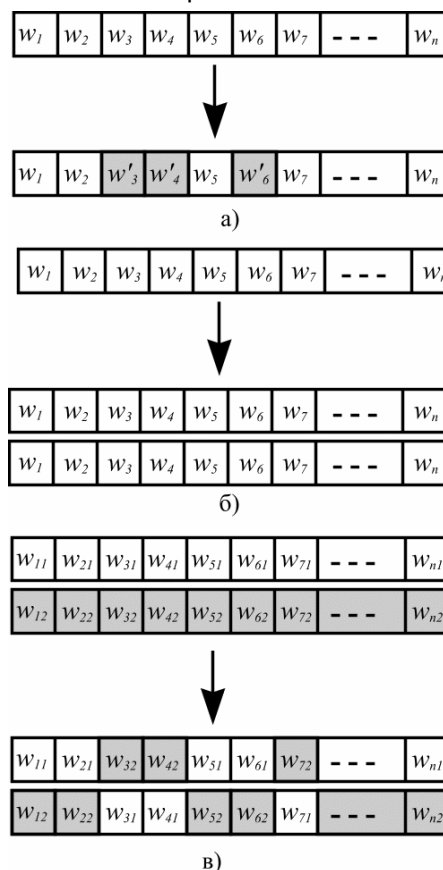


Рис. 1. Операции, применяемые при эволюционном моделировании: а) мутация, б) размножение, в) рекомбинация.

Пусть исследуемая модель описывается вектором параметров системы, заданным на пространстве состояний.



Рис. 2. Эволюционный алгоритм. Блок-схема.

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_k \end{bmatrix}$$

По аналогии с биологической моделью, явившейся прототипом алгоритма, будем называть вектор W – хромосомным набором, а его элементы w_i – хромосомами. Под популяцией понимают набор векторов $P=W_1..W_N$. Размер популяции N выбирается в зависимости от сложности решаемой задачи.

Над представителями популяции могут быть заданы следующие операции:

Кодирование – представление нейронной сети в виде вектора вида W .

Декодирование – обратная операция, позволяющее построить нейронную сеть на основе вектора W .

Мутация – случайное изменение одного или нескольких элементов вектора W на малую величину.

Размножение – создание копии элемента популяции, имеющего наименьшую оценку ошибки.

Рекомбинация – замена фрагмента вектора W , на соответствующий фрагмент другого хромосомного набора.

Гибель – удаление из популяции элементов, имеющих наихудшую оценку параметров.

Общая схема алгоритма представлена на рис. 2.

К преимуществам генетических алгоритмов следует отнести:

Сходимость к глобальному минимуму. ГА не подвержен застреванию в локальных минимумах.

Высокий параллелизм – отдельные, независимые части хромосомного набора оптимизируются независимо.

Основными недостатками ГА являются:

- низкая скорость работы;
- большой объем памяти требуемой для хранения элементов популяции;
- низкая эффективность при реализации на цифровой ЭВМ общего назначения.

Метод имитации отжига

Другой метод решения задач многокритериальной оптимизации, предложенный С. Кирлпатриком, С. Гиллата и М. Веччи в 1983 г., получил название «имитации отжига». Давно известно, что при быстром охлаждении металла конструкция получается хрупкой из-за наличия множества дефектов в кристаллической решетке материала. В процессе медленного

```

T ← Tmax
while (T ≥ Tmin)
  while |ΔE| > ε
    for i ∈ 1..n
      Δx ← γ(T)
      Xi ← xi + Δx
    ΔE ← E(x) – E(X)
    x ← X if ΔE ≥ 0
  T ← T – ΔT
  
```

Рис. 3. Метод отжига. Реализация.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

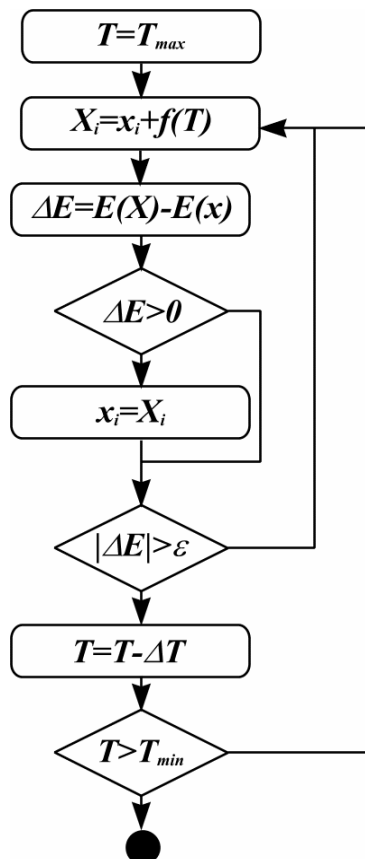


Рис. 4. Метод отжига. Блок-схема.

охлаждения – отжига, атомы металла постепенно занимают «оптимальное» положение в пространстве, выстраиваясь в узлах кристаллической решетки соответствующей минимальной энергии.

В 50-х годах XX века была построена математическая модель отжига металла. Данная модель может быть эффективно использована для решения любой задачи, сформулированной в терминах численной оптимизации, в том числе для определения параметров математической модели.

Применение метода имитации отжига к оптимизации математической модели выглядит следующим образом:

Выбирается смысл параметров «температура» и «энергия». Как правило, под энергией понимают среднее значение ошибки модели, а

температура определяет величину флуктуаций переменных параметров на каждой итерации метода.

Выбирается достаточно большое начальное значение температуры, веса инициализируются случайными числами.

Производится медленное охлаждение системы, на каждом шаге которого веса испытывают случайные флуктуации зависящие от текущей температуры.

Рассчитывается изменение энергии системы. При уменьшении энергии изменения принимаются. При увеличении энергии изменения принимаются с вероятностью, зависящей от величины приращения энергии и температуры.

Шаги 3-4 повторяются до достижения «теплового равновесия».

Температура уменьшается. Шаги 3-5 повторяются для нового значения температуры.

Шаги 3-6 повторяются, пока температура не достигнет малого значения, принятого за 0.

В результате работы алгоритма устанавливается тепловое равновесие соответствующее минимальной энергии системы.

Блок-схема алгоритма и его реализация на языке программирования MathCad представлены на рис. 3 и 4, соответственно.

Характеристики метода отжига сходны с характеристиками ГА. Метод отжига

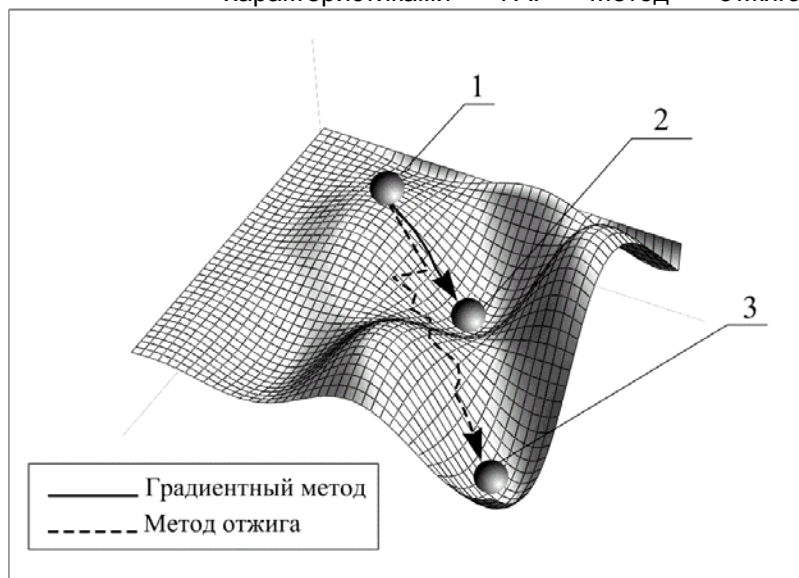


Рис. 5. Сравнительная характеристика процесса обучения градиентным методом и методом отжига: 1 - начальное приближение; 2 - точка локального минимума; 3 - точка глобального минимума.

позволяет найти глобальный минимум системы и не имеет ограничений на вид оптимизируемой функции. «Расплачиваться» за это приходится медленной работой алгоритма. Метод отжига хорошо зарекомендовал себя на практике и широко применяется при решении NP-полных задач, таких как разводка электроплат, размещение объектов на местности, проектирование электроустройств и т. д. Метод может быть рекомендован для обучения нейронных сетей небольшой размерности (до нескольких сотен синаптических весов).

Заключение

В статье проанализированы перспективы применения нетрадиционных технологий оптимизации, при синтезе математических моделей электроустановок. Рассмотрены основные направления развития оптимизационных методов, их достоинства и недостатки в сравнении с классическими.

Показано, что эволюционные алгоритмы способны находить глобальный минимум даже при высокой степени овражистости поверхности состояний системы, однако

предъявляют высокие требования к ресурсам ЭВМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивахненко А.Г. Юранковский Ю.П. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. М.: Радио и связь, 1987. - 120 с., ил.
2. Ивахненко А. Г. Мюллер Н. А. Самоорганизация прогнозирующих моделей. Киев:Техника, 1984. - 350 с.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1986. - 544 с.
4. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. М.: Мир, 1985. - 509 с.
5. Ашманов С. А. Тимохов А. В. Теория оптимизации в задачах и упражнениях. М.: Наука, Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1991. - 448 с.
6. Аоки М. Введение в методы оптимизации. М.: Наука, Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1977. - 344 с.
7. Нейроинформатика / А. Н. Горбань, В. Л. Дунин-Барковский, А.Н. Кирдин, Е.М. Миркес, А.Ю. Новоходько, Д.А. Россиев, С.А. Терехов, М.Ю. Сенашова, В.Г. Царегородцев. Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1998.