

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ОБУЧЕНИЯ

А. А. Вичугова, В. Н. Вичугов (Томск)

В связи с тем, что современные технологические процессы достаточно сложны и характеризуются широким диапазоном управляемых объектов и параметров, аналитическая либо стохастическая зависимость между регулируемыми характеристиками может быть не выявлена или не существует вообще. Поэтому актуальной является проблема создания интеллектуальных устройств, способных самостоятельно формировать и изменять управляющие воздействия в процессе непосредственного взаимодействия с объектами управления (ОУ), математическая модель (ММ) которых неизвестна или изменяется.

Целью данной работы является моделирование и исследование интеллектуально-го адаптивного самонастраивающегося устройства управления (УУ), функционирующего на основе эволюционных механизмов адаптации биологических организмов к изменяющейся среде обитания. В соответствии с этим используются методологии двух бионических подходов построения систем искусственного интеллекта: структурного и эволюционного [1]. В рамках структурного подхода реализуется искусственная нейронная сеть (ИНС), настраиваемая эволюционными алгоритмами генетического поиска – генетическими алгоритмами (ГА).

Предложенный метод создания интеллектуальных адаптивных регуляторов предполагает генерацию последовательности искусственных нейронных сетей (популяции), среди которых в процессе самообучения производится отбор по целевому признаку адаптации.

Задача состоит в создании быстродействующего метода адаптивного самообучения ИНС при управлении объектом с неизвестной или неточной ММ. С целью исследований целесообразности применения предложенного метода синтеза интеллектуальных регуляторов и сравнения его результатов с существующими методами классической теории автоматического управления разработано программное средство «Виртуальный лабораторный стенд для исследования применения генетических алгоритмов в нейросетевых системах управления» для среды математического моделирования и инженерных расчетов Matlab (рис. 1).



Рис. 1. Первое окно разработанного виртуального лабораторного стенда

Данное программное средство позволяет моделировать нестационарные системы управления (СУ) с неизвестной ММ, в которых многослойная нейронная сеть выполняет функцию адаптивного регулятора (рис. 2).

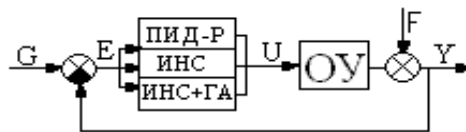


Рис. 2. Структура СУ

Нейросеть – набор нелинейных элементов – нейронов, взаимосвязанных между собой. Возможности сети возрастают с увеличением числа ячеек сети, плотности связей между ними и числом внутренних слоев [2]. Настраиваемыми параметрами сети являются весовые коэффициенты – числа, характеризующие интенсивность связи между нейронами. Работа нейросети состоит в преобразовании входного вектора в выходной вектор посредством изменения весовых коэффициентов. Этот процесс называется обучением ИНС и выполняется по определенным правилам, принцип действия которых определяется объемом исходной информации об объекте. Согласно принятому нами выше положению о неопределенности ММ объекта, желаемое выходное значение ИНС в качестве УУ не может быть рассчитано аналитически. В связи с этим целесообразно использование правил обучения нейросети, которые соответствуют парадигме обучения «без учителя», т.е. самообучение при отсутствии эталона, одним из которых является эволюционное моделирование. К последнему относится генетический поиск, представляющий собой специфический метод оптимизации, который является адаптирующимся к особенностям целевой функции. В случаях, когда задача может быть решена специально разработанным для нее методом, практически всегда этот метод будет эффективнее ГА как по быстрдействию, так и по точности найденных решений, но при отсутствии таких методов, применение ГА для решения сложных неформализуемых многоэкстремальных задач позволяет достичь вполне приемлемых результатов [3]. Однако данные алгоритмы обладают очень медленной сходимостью, в связи с этим возникает необходимость оптимизации работы ГА, увеличение его скорости функционирования.

В разработанном программном средстве ГА реализованы следующим образом: создается последовательность нейросетей – популяция, весовые коэффициенты каждой ИНС образуют генные массивы. Каждая особь работает в качестве УУ, после чего сети сортируются в соответствии со значением целевой функции, при этом происходит отбор, в процессе которого сети с «наихудшим» значением функции адаптации, т.е. наименее приспособленные, заменяются потомками более приспособленных [4]. Этот процесс выполняется итеративно и представляет собой цикл обучения.

Формирование новой популяции происходит путем модификации особи, показавшей наилучший результат в предыдущем цикле обучения, посредством применения над ее генным массивом генетических операторов, заимствованных из современных представлений об естественном отборе. Это реализовано следующим образом: мутация представляет собой случайное изменение весового коэффициента в генетической цепочке ИНС [4]. Однако здесь возникает вопрос о том, насколько эффективно будет изменение этого случайно выбранного весового коэффициента сети и как именно следует изменить вес связи – в сторону увеличения или уменьшения. Для этого и необходимо определение кластеров сети, в которых изменение весов связей между нейронами быстро позволит получить желаемые результаты.

Интенсивность применения генетических операторов определяется из оценки значения целевой функции адаптации, степени близости его к глобальному экстремуму. По завершении цикла работы популяции вычисляется функция прогресса обучения, представляющая собой разность между значениями целевой функции адаптации по

окончании предыдущего и текущего циклов. Значение функции прогресса обучения и определяет интенсивность применения генетических операторов – если значение прогресса мало, то значение целевой функции адаптации лежит в области экстремума, и интенсивность использования генетических операторов снижается, поскольку необходимо более тщательное тестирование данного локального пространства значений функции адаптации для выявления глобального оптимума.

Для выхода целевой функции из локального экстремума и продолжения обучения ИНС осуществляются значительные изменения весовых коэффициентов, при этом интенсивность применения генетических операторов гораздо выше, чем при обычной генерации нового поколения сетей.

Для оптимизации ГА предусмотрена визуализация внутренней структуры нейросети, что позволяет выявить кластеры нейросети, настройка которых ГА приведет к достижению «наилучшего» результата за сравнительно небольшое время (рис. 3).

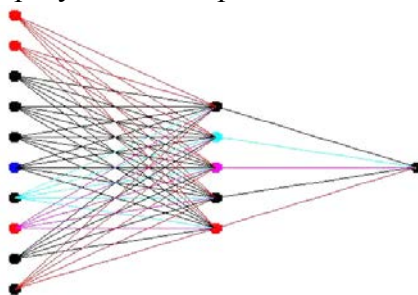
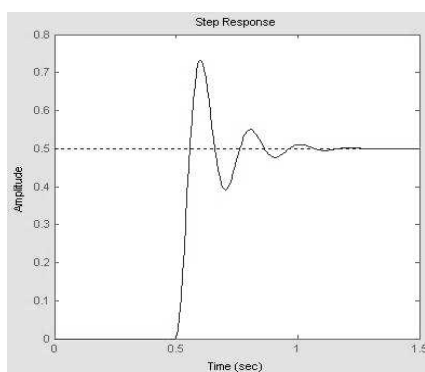


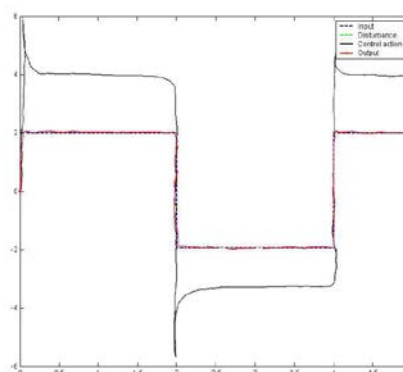
Рис. 3. Визуализация внутренней структуры сети

Ниже приведены результаты экспериментов с инерционным колебательным ОУ 2-го порядка (рис. 4), которому соответствует передаточная функция:

$$W_{or}(p) = \frac{(0.001 \cdot p + 0,5)}{(0.001 \cdot p^2 + 0.015 \cdot p + 1)}.$$



а)



б)

Рис. 4. Переходная характеристика объекта (а) и результаты управления объектом с помощью ИНС и ГА при ступенчатом задающем воздействии (б); выходной сигнал ОУ практически полностью совпадает с задающим воздействием, цель управления достигнута

Проведенные с помощью разработанного программного средства эксперименты с линейными объектами показали способность адаптивных регуляторов на основе ИНС с применением ГА обучения без использования кластерной технологии синтезировать управление с приемлемыми показателями качества управления.

Поскольку обучение сети подобным методом занимает достаточно продолжительное время, идет работа по выявлению закономерностей распределения значений весовых коэффициентов ИНС для определения наиболее перспективных для модификации кластеров сети. Также продолжается разработка программной среды для моделирования адаптивных систем управления нелинейными нестационарными ОУ и каскадными многосвязными СУ с большим числом регулируемых параметров.

Представленное программное средство позволяет не только ознакомиться с альтернативной парадигмой теории управления, не основанной на интегрированном дифференциальном исчислении, но и анализировать полученные результаты моделирования, сопоставляя их с параметрами и внутренней структурой нейросетей, имитирующих адаптивные УУ. Программные модели таких нейросетей, обучаемых с применением ГА, могут быть использованы для интерполяции и экстраполяции сложных многопараметрических функций, например, в экономическом анализе, в системах принятия оптимальных решений и т. д.

### Литература

1. Различные подходы к построению систем ИИ [http://lii.newmail.ru/podh\\_ai.htm](http://lii.newmail.ru/podh_ai.htm)
2. **Короткий С.** Нейронные сети: основные положения  
<http://www.gotai.net/documents/doc-nn-002.aspx>
3. **Воронский Г. К. и др.** Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности. Х.: ОСНОВА, 1997. 112 с.
4. **Вичугова А. А., Вичугов В. Н.** Нейросетевые системы управления с применением генетических алгоритмов//Труды V Всероссийской научно-практической конференции «Молодежь и современные информационные технологии». Томск: ТПУ, 2007. С. 365–367.