

Расширяемый учебный и исследовательский программный пакет NNACS

Елисеев В.Л., Филаретов Г.Ф.

Аннотация

В работе представлена методология и реализация подхода к обучению нейросетевым методам автоматического управления на примере программного пакета NNACS (Neural Networks Applications for Control Systems).

Обосновывается необходимость гибкой настройки элементов пакета при подготовке комплекса лабораторных работ для систем управления различной структуры и назначения. Описана архитектура пакета и приведены типовые сценарии взаимодействия с пользователем. Отмечены элементы, облегчающие использование при проведении лабораторных работ. Перечислены функции пакета и описаны возможности по их расширению. Приведены примеры тем учебных и научно-исследовательских работ, выполненных с помощью пакета.

Введение

Одной из распространенных областей применения искусственных нейронных сетей в инженерной практике являются системы автоматического управления. Методы анализа и синтеза систем автоматического управления в обязательном порядке присутствуют в учебных курсах всех инженерных ВУЗов. Традиционно изучается теория автоматического управления в классе линейных систем, а также методы анализа и синтеза линеаризованных систем. В последние годы комплекс изучаемых подходов обогатился методами нейросетевого управления. Полноценное преподавание этих методов, а также учебная исследовательская деятельность студентов требуют удобных и достаточно специализированных средств, позволяющих студентам за ограниченное время курса освоить эти достаточно сложные методы. Ведь в отличие от линейной теории управления, значительная часть которой позволяет аналитически выяснить все свойства изучаемой системы управления, нейросетевые подходы к настоящему моменту не проработаны столь же полно

и тщательно. Даже в энциклопедических монографиях [1] значительная часть материала посвящена синтезу, а не анализу свойств нейросетевых систем. По этой причине основное изложение нейросетевых алгоритмов в лекционном курсе должно дополняться практическими работами, связанными с решением задач с помощью нейронных сетей, моделируемых на компьютере.

Для классических задач аппроксимации, классификации, кластеризации и предсказания временных рядов существует большое число нейросетевых программных пакетов и модулей. Однако задача реализации нейросетевой системы управления требует значительного числа специфических элементов – генераторов сигналов, моделей объектов и регуляторов, средств моделирования и визуализации. Эти элементы не относятся к области искусственных нейронных сетей и поэтому не включаются в состав пакетов нейросетевого обучения и моделирования. Одним из редких примеров сочетания всех необходимых возможностей является MATLAB/Simulink. Но даже в нем необходимо приложить значительные усилия для реализации нейросетевых систем управления, включая программирование и использование достаточно сложных структур данных. По этой причине практические работы по курсу нейросетевых систем управления целесообразно проводить с использованием специализированного пакета, учитывающего все необходимые потребности.

Разработка лабораторных работ для решения задач в узких областях может потребовать удобной реализации объектов специального вида – фиксированной, хотя и сложной структуры, но с легко изменяемыми основными параметрами. В пакетах моделирования и синтеза систем управления для этой цели обычно разрабатываются специальные блоки. Важно сделать инструментарий для разработки таких блоков простым и не требующим в большинстве случаев усилий по программированию. Для реализации учебных научно-исследовательских работ студентов возможности такого пакета должны обеспечивать гибкость и универсальность в реализации сигналов, объектов управления, а также позволять сопоставлять различные алгоритмы управления.

Как правило, нейросетевые алгоритмы реализуются либо в рамках универсального пакета моделирования и программирования, самым известным примером которого является MATLAB с библиотекой Neural Network Toolbox, либо в специально разработанном или адаптированном для нейросетевых алгоритмов пакете. Универсальный пакет практически не ограничивает возможности пользователя в части реализации любых алгоритмов. Однако ряд причин (ресурсоемкость, стоимость лицензии, избыточность и чрезмерная общность инструментов) делают использование MATLAB не всегда подходящим для использования в учебных и учебно-научных целях. Это делает актуальной разработку и развитие специализированного программного пакета [2], ориентированного на обеспечение нужд соответствующего учебного курса и сопряженных с ним учебно-научных исследовательских работ студентов.

Описание пакета

Пакет программ NNACS (Neural Networks Applications for Control Systems) разработан с целью проведения научных исследований и учебных работ в области нейросетевых систем управления. Исходные тексты пакета общедоступны [3]. При разработке учитывались следующие основные требования к пакету:

- Малая ресурсоемкость (скромные требования к быстродействию и памяти компьютера)
- Поддержка распространенных в ВУЗах операционных систем (Windows XP/7/8, Linux)
- Многооконный графический пользовательский интерфейс
- Модульность
- Возможности по расширению функций

Архитектура пакета основана на следующих элементах:

1. Вычислительные модули (в т.ч., обучение нейросетей и моделирование контура управления) реализованы в виде отдельных

программ, разработанных на языке C++ с использованием средств POSIX и управляемых через параметры командной строки и/или с помощью файла с параметрами в текстовом формате.

2. Все типовые функции вычислительных модулей (ввод/вывод, работа с имитационными моделями, нейросетями и т.п.) реализованы в объектно-ориентированной библиотеке, разработанной на языке C++.
3. Интерактивные элементы и пакета разработаны с использованием средств скриптового языка Tcl и библиотеки интерактивной графики Tk [4].
4. Реализация большинства форматов данных и представления параметров в виде простых текстовых файлов.

Пакет ориентирован для решения задач в дискретном времени, поэтому обеспечивает реализацию линейных моделей в виде передаточных функций в операторной форме (z -преобразование), моделей в пространстве состояний, а также загружаемых плагинов с реализацией произвольных, в т.ч., нелинейных функций. Ряд типовых нелинейных звеньев уже реализован в виде плагинов, входящих в состав пакета. Возможности пакета обеспечивают реализацию нестационарных и многосвязных объектов, а также обеспечивают при моделировании детерминированные и стохастические сигналы уставки и помехи.

Принципиальной особенностью пакета является простота сопоставления различных видов регуляторов, проявляющуюся в унифицированных средствах моделирования системы управления и анализа её качества. Это прививает студентам целостный и взвешенный подход при выборе инструментов реализации контура управления и обеспечения тех или иных критериев качества.

Примеры окон пользовательского интерфейса пакета приведены на рис.1

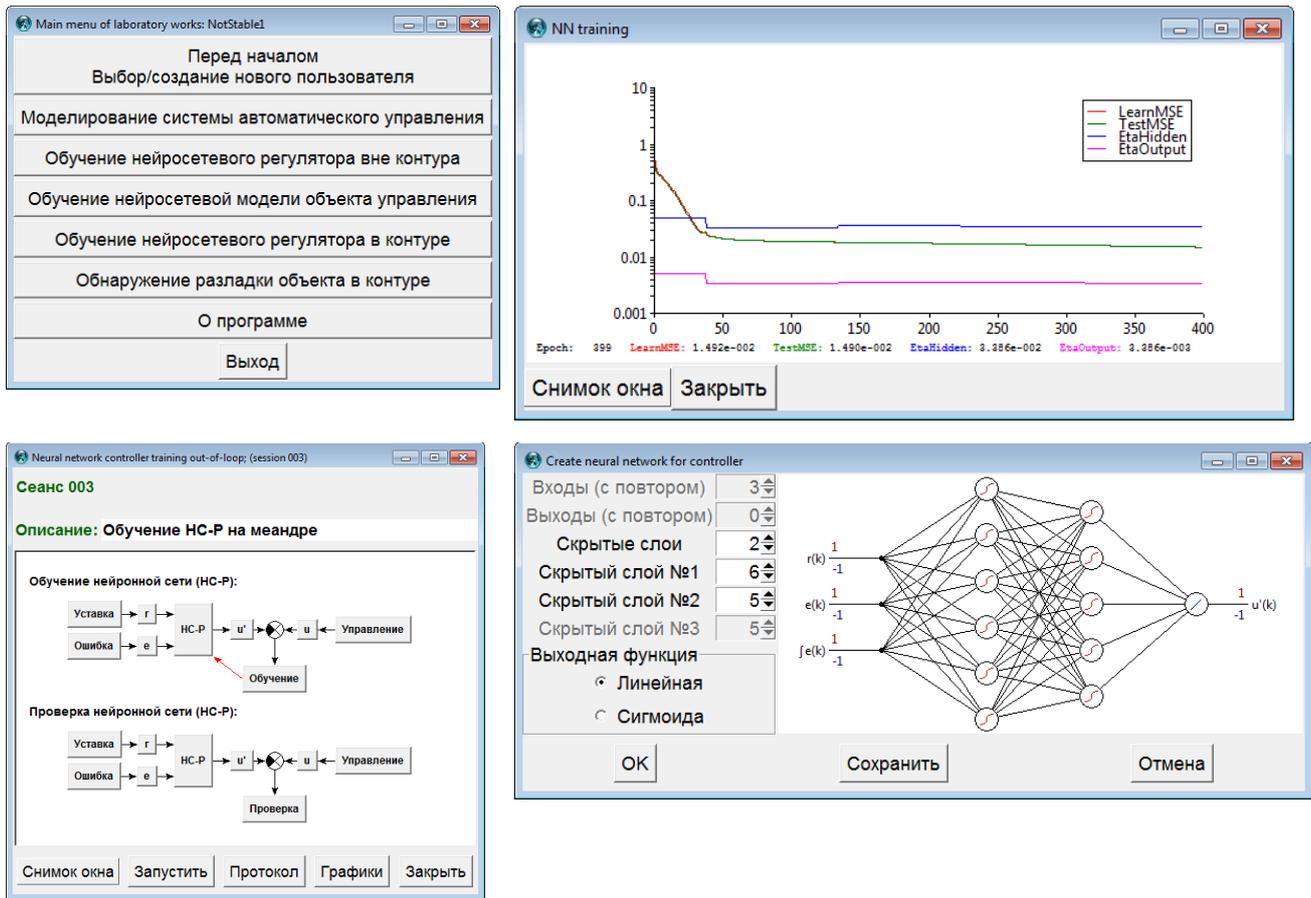


Рис.1 Графический пользовательский интерфейс пакета NNACS.

Стандартный сценарий работы с комплексом

Потребности учебного процесса, а также проведения экспериментов в рамках исследований делают удобной определенную структуризацию данных, образующих серию взаимосвязанных вычислительных экспериментов. В пакете обеспечивается работа в рамках иерархической концепции с условным обозначением уровней иерархии «Студент» и «Сеанс». Каждый студент, приходя на занятие и приступая к выполнению лабораторной работы, создает для себя новый именованный элемент, реализуемый одноименным каталогом на диске (рис.2). Внутри этого каталога создаются автоматически нумерованные рабочие сеансы (подкаталоги), каждому из которых можно задать произвольное краткое описание (рис.3).

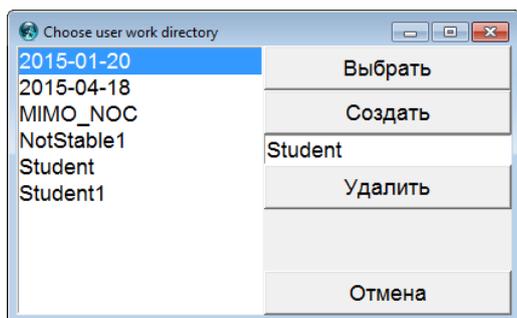


Рис.2 Выбор или создание рабочего каталога студента.

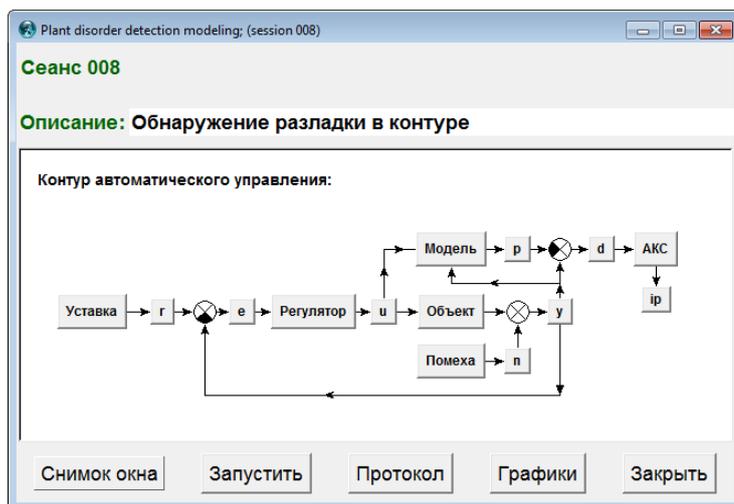


Рис.3 Пример сеанса при работе с нестационарной системой управления.

Каждый сеанс хранит всё необходимое для проведения одного вычислительного эксперимента: параметры, модели, нейросети, исходные и полученные в процессе моделирования или обучения данные. Удобство данной структуры позволяет легко искать результаты вычислительного эксперимента, а также переносить их на другой компьютер для продолжения работы. При необходимости можно создавать новые сеансы, в том числе, в виде полной копии существующего, а также в одном сеансе ссылаться на файлы (например, с обученной нейросетью) из других сеансов.

Прикладная настройка и расширение пакета

Достаточно типовой задачей, возникающей при разработке лабораторных работ с использованием конкретного типа объекта управления является задание его модели с параметрами, отражающими свойства объекта в наиболее естественном виде. Например, в некоторых случаях ПИД регулятор удобно задавать в виде коэффициентов усиления соответствующих звеньев, а иногда – в виде коэффициента пропорционального усиления и постоянных времени интегрального и дифференциального звена.

В пакете NNACS без модификации программных кодов возможно задание произвольных передаточных функций в операторной форме в виде

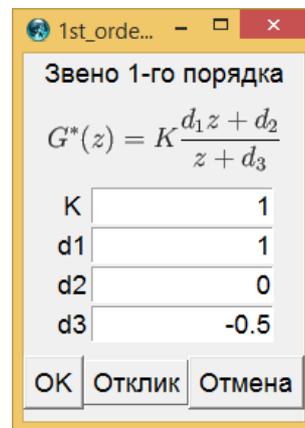
сумм и произведений дробно-рациональных компонентов. При этом коэффициенты полиномов могут быть как фиксированными, так и задаваемые пользователем в качестве настройки соответствующего линейного звена. Каждая передаточная функция может иметь собственное графическое изображение, например, формулу звена в операторном представлении. Например, описание звена первого порядка в файле шаблона представлено на рис.4а и состоит из произведения двух дробно-рациональных частей, а также параметров К, d1, d2, d3, задаваемых пользователем в виде диалога (рис.4б).

```

;NeuCon transfer 1.0
[TransferFunction]
; idname: 1st_order
; type: TransferFunction
; label: Звено 1-го порядка
; key_pos: K 0 d1 0 d2 1 d3 4
; formula: K*(d1*z+d2)/(z+d3)
product 2
polyfrac 0
1 / 1 ; K
polyfrac 0
1 0 / 1 -0.5 ; d1 d2 d3

```

а)

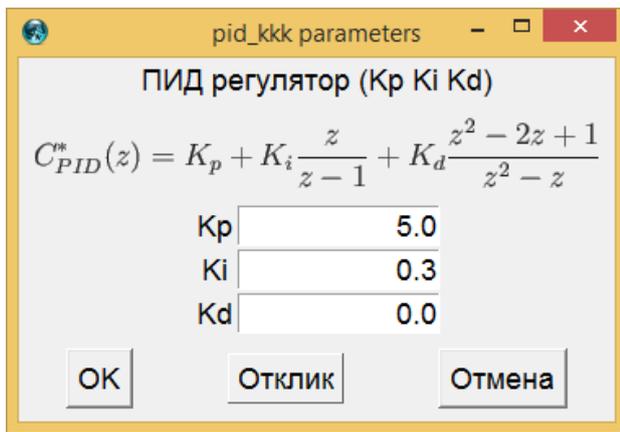


б)

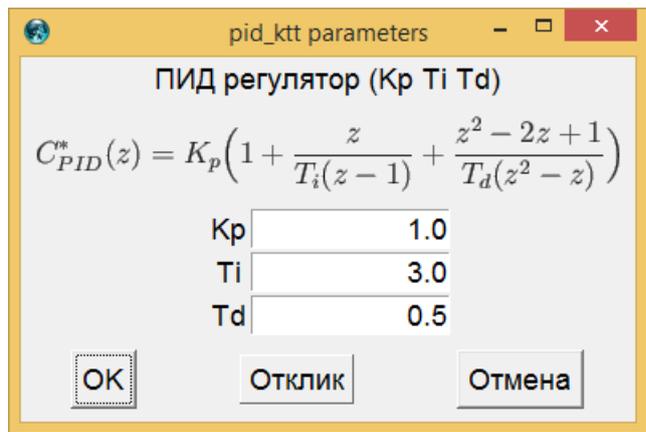
Рис.4 Пример представления передаточной функции в файле шаблона (а) и в графическом интерфейсе программы (б).

По аналогии с приведенным примером можно неограниченно расширять пакет новыми видами звеньев, добавляя файлы соответствующих форматов в каталог шаблонов пакета.

Кроме формального описания представления передаточной функции также задается произвольный графический файл, позволяющий иллюстрировать данный объект. Таким образом, задание параметров ПИД регулятора двумя разными способами иллюстрируется на рис.5.



а)

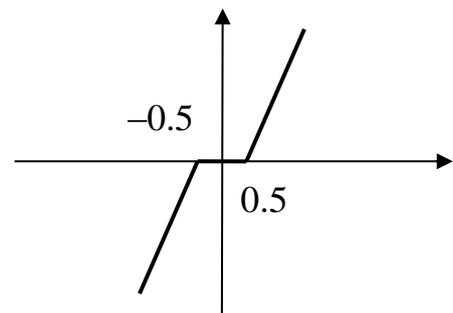


б)

Рис.5 Пример различных способов задания параметров ПИД регулятора.

Потребность реализации нелинейных объектов и регуляторов обеспечивается в пакете NNACS функционалом внешних плагинов. Плагин является разделяемой библиотекой (файл .dll или .so в зависимости от платформы) с простой структурой кода, разрабатываемого на C++. Для реализации любой нестандартной функции достаточно запрограммировать два действия – Reset с первичной инициализацией и Function с вычислением выходного вектора объекта по входному вектору. Имеется возможность передачи в плагин произвольных параметров и вектора начального состояния. В состав пакета входит набор наиболее распространенных нелинейных функций (зона нечувствительности, насыщение и пр.), а также примеры сложных объектов с нелинейной динамикой (бассейн со стоком и притоком, химический реактор идеального перемешивания). Пример нелинейного звена типа «зона нечувствительности» представлен на рис.6.

```
[CustomFunction Function2]
;                               .so/.dll depending the OS
file    deadzone
;HalfWidth Gain
options 0.5 2
;Initial vector (deadzone is stateless)
Initial
```



а)

б)

Рис.6 Пример представления параметров (а) нелинейного звена (б).

Опыт применения

Пакет был разработан в процессе подготовки диссертационной работы по нейросетевым системам управления и в дальнейшем успешно использовался к учебной и научно-исследовательской деятельности студентов. В частности, пакет в течение 4-х лет используется в качестве лабораторной базы в курсе «Нейрокомпьютеры и их применение», читаемом на кафедре Управления и информатики НИУ «МЭИ». Кроме того, возможности пакета позволили выполнить студентам бакалаврские и магистерские выпускные работы по темам «Нейросетевое управление неустойчивым объектом» и «Нейросетевое управление многомерным объектом», в рамках которых проводился не только синтез нейросетевого регулятора, но и сопоставление с регуляторами других типов.

Выводы

Пакет NNACS удобен для использования в учебном процессе, обеспечивает моделирование, анализ и синтез нейросетевых систем управления, а также их сопоставление с традиционными подходами. Кроме реализованных функций пакет обеспечивает простую и гибкую настройку на широкий спектр задач, возникающий в учебном процесс и сопряженной научно-исследовательской деятельности.

Литература

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание, пер. с англ. – М: Издательский дом «Вильямс», 2008.
2. Елисеев В. Л., Филаретов Г. Ф. Программный пакет для моделирования и обучения методам нейросетевого управления // Открытое образование. 2011. № 2(86), Ч.2. С. 98–101

3. NNACS // GitHub.com [*Электронный ресурс*] URL:
<https://github.com/evlad/nnacs> (дата обращения: 18.06.2016).
4. Брент Б. Уэлш, Кен Джонс, Джеффри Хоббс . Практическое программирование на Tcl и Tk, пер. с англ. – М: Издательский дом «Вильямс», 2004.