

**А.А. ЖДАНОВ, А.Е. УСТЮЖАНИН, М.В. КАРАВАЕВ,  
Д.Б. ЛИПКЕВИЧ**

Институт системного программирования РАН, Москва  
E-mail: [alexander.zhdanov@ispras.ru](mailto:alexander.zhdanov@ispras.ru)

**4GN - ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ  
НЕЙРОПОДОБНЫХ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АВТОНОМНОГО  
АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

**Аннотация**

Описывается программная инструментальная среда 4GN для разработки и проектирования интеллектуальных систем управления по методу Автономного Адаптивного Управления.

**A.A. ZHDANOV, A.E. USTYUZHANIN, M.V. KARAVAEV,  
D.B. LIPKEVICH**

Institute for System Programming RAS, Moscow  
E-mail: [alexander.zhdanov@ispras.ru](mailto:alexander.zhdanov@ispras.ru)

**4GN - TOOL FOR DEVELOPING NEURO-LIKE CONTROL  
SYSTEMS BASED ON METHOD OF AUTONOMOUS  
ADAPTIVE CONTROL**

**Abstract**

The developing tool “4GN” for creating intelligent controls systems based on method of autonomous adaptive control is described.

Современные системы управления создаются для решения таких плохо формализуемых задач как: аналитические символьные вычисления, вывод новых знаний, распознавание образов, принятие решений, автоматическое управление, адаптивное управление, машинный перевод, управление роботами, компьютерные игры (шахматы и т.д.). При этом разработчики такого рода систем должны решить целый ряд проблем: выбор методологии, минимизация времени и ресурсов на разработку и тестирование, сложность решения, возможности взаимодействия

разрабатываемой системы с уже существующими, переносимость на другие платформы.

При разработке таких сложных систем управления немаловажную роль играет инструмент, при помощи которого эти системы создаются. Среда проектирования обычно позволяет значительно сократить время разработки, исключить многие возможные ошибки, легко настраивать и отлаживать системы, а также повторно использовать созданные конструкции. Для разработки и моделирования математических систем и систем на основе нечеткой логики удобно использовать пакеты MathLab и MathCAD, для конструирования печатных плат – PCAD и т.д. В области искусственного интеллекта широко распространены различные редакторы сетей на формальных нейронах, которые позволяют быстро собрать сеть из готовых нейронов или слоев, настроить ее параметры, обучить и использовать.

Представленная в данной статье разработанная в ИСП РАН [1] по заказу фирмы ATS Soft [2] инструментальная система 4GN призвана выполнять все эти функции, применительно к разработке систем по методу автономного адаптивного управления (ААУ) [3 -5].

Метод ААУ позволяет строить самообучающиеся распознающе-управляющие комплексы, решающие одновременно (в одном процессе) такие задачи как:

- автоматическая классификация,
- распознавание образов,
- исследование функциональных свойств заданного объекта управления и среды,
- приобретение знаний о возможности управления заданным объектом,
- сохранение эмпирической информации в базе знаний,
- вывод новых знаний из старых,
- качественная оценка знаний (моделирование «эмоций»),
- качественная оценка состояния объекта,
- принятие решений.

Очевидно, что, используя только одну технологию, например, нечеткую логику или формальные нейронные сети, крайне сложно эффективно решить в одной системе все эти задачи. Поэтому при конструировании систем ААУ различные ее подсистемы: блок формирования и распознавания образов, аппарат эмоций, база знаний, аппарат принятия решений (рис.1) могут строиться с использованием различных технологий искусственного интеллекта. Однако такие

подсистемы, согласно методике ААУ, можно конструировать в виде сетей из специальных нероноподобных базовых элементов [4].

Основные особенности метода ААУ:

- управленческая парадигма (а не только парадигма распознавания). Система ААУ автоматически находит способ управления заданным объектом;
- система ААУ – комплекс подсистем, решающих несколько «интеллектуальных» задач;
- самообучение и управление в одном процессе;
- не требуется разработки точной математической модели объекта управления и среды;
- многокритериальное и многоцелевое управление;
- система управления может управлять объектами разных типов;
- система ААУ может использоваться в дополнение к стандартному управлению или как система принятия решений.

Среда U

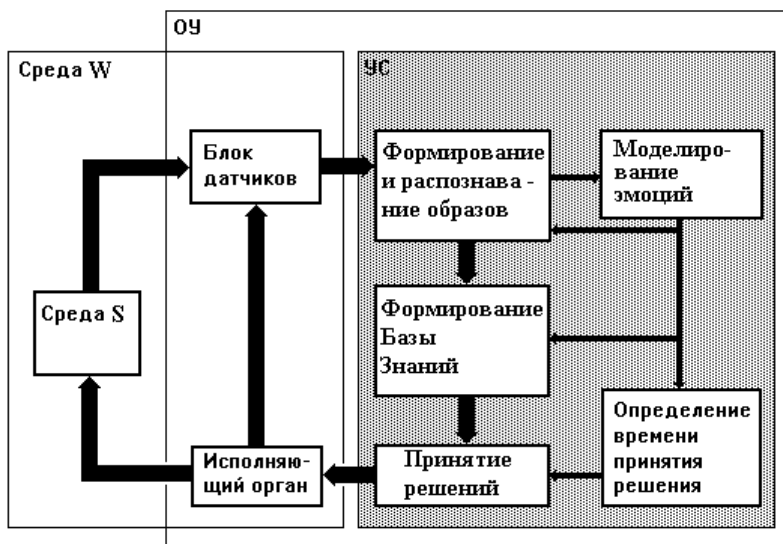


Рис 1. Структурная схема системы, построенной по методу ААУ.

Для реализации всех этих функций в среду проектирования систем ААУ были включены следующие редакторы:

- редактор сетей нейроподобных элементов (с возможностью изменения межэлементных связей и свойств каждого из элементов);
- редактор нечетких правил в сетевом виде (при помощи которых системы ААУ могут хранить априорную и другую информацию в базе знаний);
- редактор блоков, написанных на языке программирования C#;
- редактор межблочных соединений (способных передавать данные 4ех типов: скалярные, одно- двух- и трехмерные массивы).

При помощи каждого из этих редакторов (кроме редактора межблочных соединений) пользователь может создавать и изменять любой блок системы ААУ. Все созданные пользователем компоненты могут быть сохранены в библиотеке для дальнейшего использования. Для каждого из блоков имеются стандартные заготовки и примеры реализации, которые хранятся в специальной библиотеке.

Помимо стандартных редакторов, пользователь имеет возможность написать собственные компоненты на любом из языков программирования семейства .Net, используя стандартные интерфейсы.

Подсистема визуализации 4GN может отображать в режиме реального времени значение любой переменной (помеченной соответствующим атрибутом) любого из блоков. Помимо символического отображения, переменные различных типов могут быть выведены на экран в графическом виде как:

- зависимость значений одной переменной от времени;
- значения двух переменных (фазовая плоскость);
- зависимость набора значений бинарных переменных от времени;
- визуализация двумерного массива (часто в таком виде представляется база знаний систем ААУ);
- визуализация сети из базовых нейроподобных элементов;
- визуализация векторного представления лабиринта.

Помимо этих встроенных средств визуализации пользователь имеет возможность написать свои собственные графические элементы, воспользовавшись предоставленными интерфейсами.

Созданные в 4GN системы могут быть сохранены целиком в виде XML файла.

В результате проектирования была разработана система 4GN, обладающая следующими особенностями:

- гибкий визуальный дизайн управляющих систем;
- возможность разработки нейронных сетей на низком уровне (уровень межэлементных соединений) – рис. 3;
- гибкость: легкость изменения существующих функций;
- растяжимость: легкость добавления новых функций;
- многочисленные средства визуализации в режиме реального времени – рис. 4;
- интеграция со сторонним программным обеспечением (например, MathLab, Player/Stage и т.д.);
- интеграция с существующими источниками данных (OLE DB);
- возможность многократного использования.

В качестве примера использования системы 4GN рассмотрим подсистему распознавания образов для системы “Пилот” [6], предназначенной для стабилизации углового движения космического аппарата (удержание углового отклонения аппарата от нужного угла в заданном диапазоне). Подсистема распознавания образов в программе «Пилота» должна определять, в каком участке фазовой плоскости (рис. 2) находятся в каждый момент времени значения двух входных переменных: углового отклонения  $\varphi(t)$  и угловой скорости  $\varphi'(t)$ .

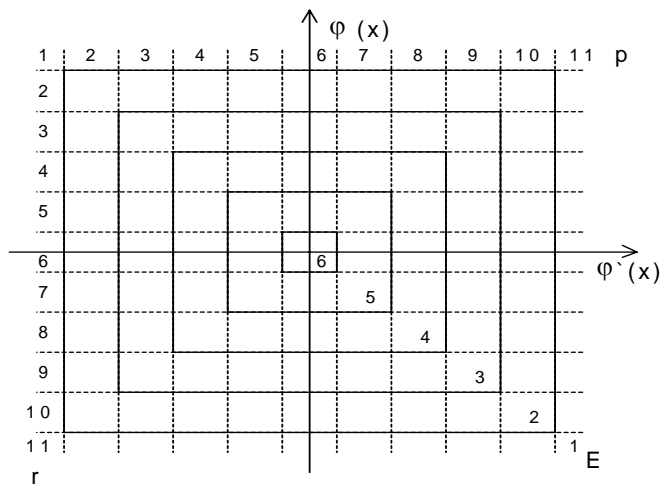


Рис 2. Признаковое пространство распознающей подсистемы программы «Пилот» - фазовая плоскость (угол, угловая скорость) .

Разработанная подсистема распознавания образов состоит из двух типов элементов, объединенных в сеть (рис. 3). На ее вход подаются значения двух переменных вещественного типа: «угловое отклонение» и «угловая скорость» (два входных полюса слева в основном окне на рис. 3), а выходной полюс выдает номер распознанного образа в виде бинарного вектора (единица в определенной позиции вектора говорит о том, что распознан образ с номером, совпадающим с номером этой позиции).

В 1-м слое находятся  $N*2$  элементов, каждый из которых поставлен в соответствие одному из  $N$  поддиапазонов множества значений одной из входных переменных: «угловое отклонение» или «угловая скорость». Каждый элемент вычисляет степень принадлежности входной переменной своему поддиапазону по функции принадлежности треугольного вида.

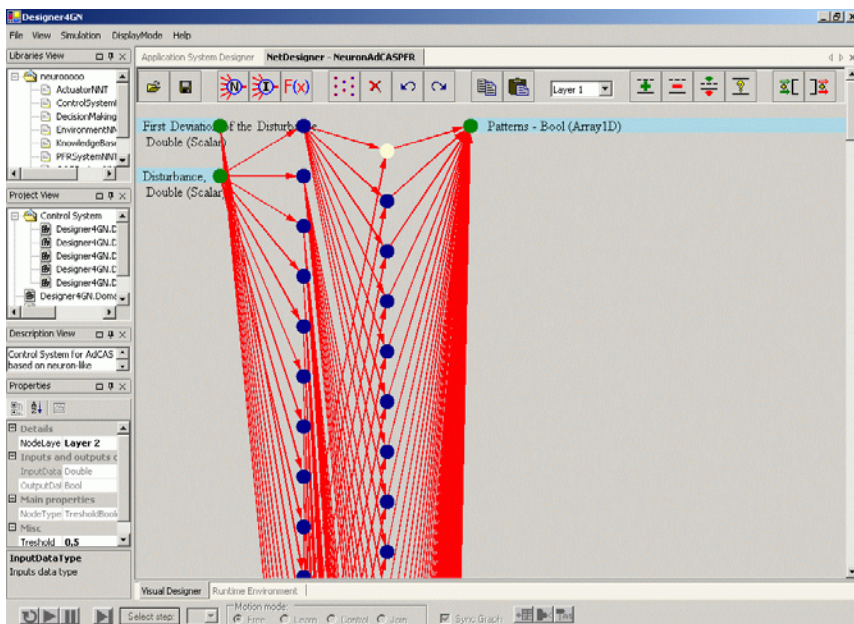


Рис. 3. Подсистема распознавания образов в редакторе нейронных сетей.

Во 2-м слое находится  $N*N$  элементов, выполняющих функцию «пороговое И» над своими двумя входами. На эти входы подаются выходные значения двух элементов 1-го слоя (значения функций принадлежности соответствующим диапазонам «углового отклонения» и «угловой скорости»).

Значения выходов 2-го слоя имеют бинарный тип, их количество равно общему количеству участков, на которые разбивается фазовая плоскость, а единица на каждом из выходов показывает, что значения «углового отклонения» или «угловой скорости» находятся в соответствующем участке фазовой плоскости.

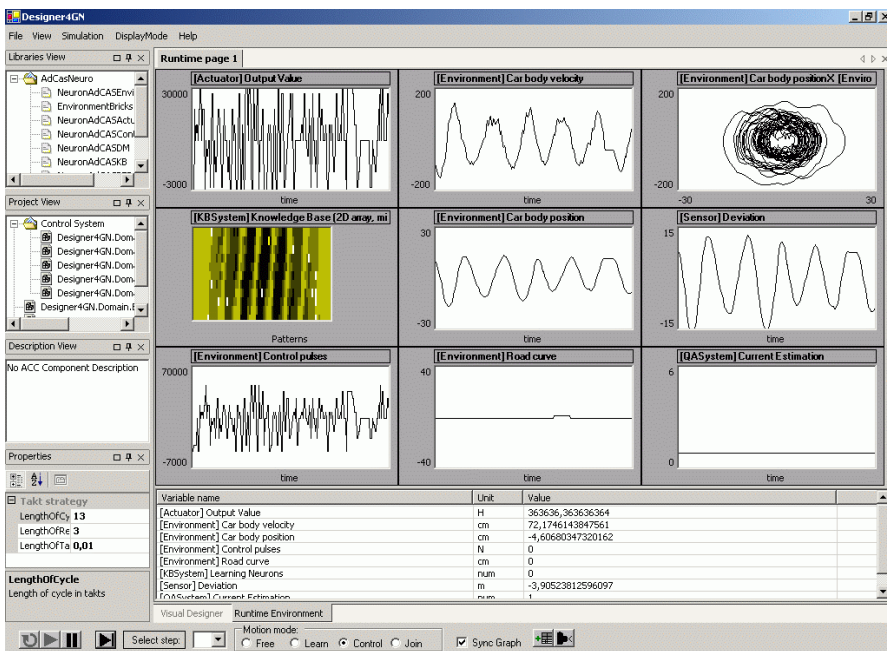


Рис. 4. Подсистема визуализации инструмента 4GN.

Инструментальная система 4GN имеет универсальный характер и может быть использована для разработки адаптивных систем управления

на основе метода ААУ для прикладных объектов различного характера – от технических устройств до социальных объектов [3]. На данный момент с помощью системы 4GN были воспроизведены несколько прежних прикладных систем, разработанных по методу ААУ, а именно, система управления активной подвеской автомобиля (система AdCAS) и система управления мобильным роботом [7]. Если раньше каждая такая прикладная система разрабатывалась около года, то разработка аналогичной программы с помощью инструмента 4GN требовала всего около 1 месяца.

#### *Список литературы*

1. <http://www.ispras.ru/>
2. <http://www.atssoft.com/>
3. Жданов А.А. Метод автономного адаптивного управления // Известия Академии Наук. Теория и системы управления, 1999, № 5, с. 127-134.
4. Жданов А.А. Формальная модель нейрона и нейросети в методологии автономного адаптивного управления. Сборник "Вопросы кибернетики". Научный совет по комплексной проблеме "Кибернетика" РАН. Выпуск 3. М., 1997, С. 258-274.
5. Жданов А.А. О методе автономного адаптивного управления (лекция). Сб. научн. тр. Всероссийской научн.-техн. конференции "Нейроинформатика-2004". М.: МИФИ.
6. Жданов А.А., Земских Л.В., Беляев Б.Б. Система стабилизации углового движения космического аппарата на основе нейроноподобной системы автономного адаптивного управления. Космические Исследования, М. 2004.
7. А.А. Жданов, М.В. Крыжановский, Н.Б. Преображенский. Бионическая интеллектуальная автономная адаптивная система управления мобильным роботом // Мехатроника, 2004, №1, с. 21-30 и №2, с. 17-22.