

Технология реализации автоматизированных систем управления на базе больших искусственных нейронных сетей МОДУС-НС

И. С. Кабак, канд. техн. наук; Н. В. Суханова, канд. техн. наук
ФГБОУ ВПО МГТУ "СТАНКИН", Москва, Россия

Представлены системы автоматизированного управления технологическими процессами в машиностроении, которые все чаще используют методы неформального принятия решений, технологии искусственного интеллекта. Одним из способов реализации интеллектуальной промышленной системы управления является искусственная нейронная сеть (ИНС). Даны технологии создания подобных сетей в виде аппаратно-программного устройства.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, суперкомпьютеры, архитектура.

Современные системы управления сложными техническими объектами, например, производственными комплексами, требуют новых подходов [1, 2]. Применение исключительно алгоритмических методов управления не является полностью оправданным. Существует ряд задач, которые должна решать система управления [3—8] и в которых основополагающими будут неформальные и алгоритмически неопределенные способы. Эти задачи требуют подхода на основе искусственного интеллекта. Одним из основных методов реализации искусственного интеллекта являются искусственные нейронные сети [9, 10]. Применение искусственных нейронных сетей не ограничивается только вышеупомянутой областью.

В данной статье описан способ реализации модели надежности ПО на базе новой технологии реализации больших искусственных нейронных сетей МОДУС-НС.

Технология МОДУС-НС была разработана и запатентована для создания интеллектуальных систем различного назначения, в том числе для управления сложными техническими объектами, такими как автономные летательные космические аппараты или гибкие производственные системы.

Концепция системы МОДУС-НС предполагает, что аппаратный комплекс системы управления сложным объектом представляет собой набор специализированных аппаратных модулей, соединенных высокоскоростной сетью передачи информации.

Все модули системы можно разделить по своим функциям на два класса (рис. 1).

Одни модули выполняют заложенные в систему функции, реализуют цели и задачи управления. Такие модули называются базовыми.

Для функционирования комплекса аппаратных средств также необходимо выполнять вспомогательные функции. Модули, выполняющие эти функции, называются периферийными.

В модели надежности ПО используют два типа базовых модулей:

- алгоритмические, представляющие собой вычислительное устройство с процессором, оперативной памятью и программным принципом управления,

- интеллектуальные, содержащие фрагменты обученной ИНС.



Рис. 1. Классификация компонентов в технологии МОДУС-НС

Все модули одного типа одинаковы, эквивалентны и взаимозаменяемы, имеют форму куба и одинаковые геометрические размеры. К каждому базовому модулю системы подходят шесть линий связи, расположенных на шести гранях базового модуля (рис. 2). В качестве топологии сети передачи информации использована гиперкубическая решетка.

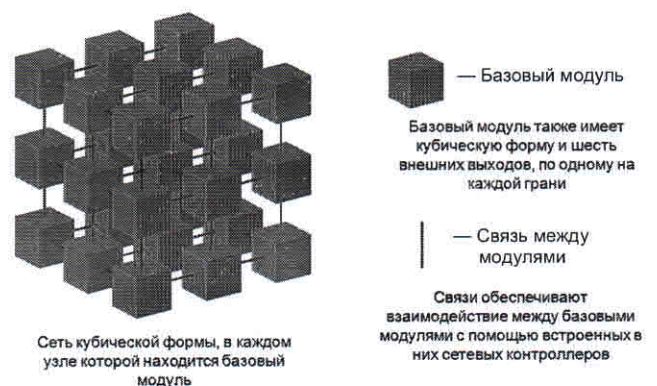


Рис. 2. Структура сети МОДУС-НС

Структура базового модуля приведена на рис. 3. Все сетевые средства обмена данными размеще-

ны в каждом из модулей комплекса. Такой подход обеспечивает полную взаимозаменяемость модулей в пределах одного типа и облегчает сборку системы. Сетевой контроллер обеспечивает быструю передачу информации с внешнего входа модуля на соответствующий выход, если эта информация транзитная и не предназначена для данного модуля, или на внутренний вход, если информация предназначена для данного модуля.

Для экспорта-импорта или тиражирования ИНС достаточно скопировать матрицы коэффициентов W .

Задача оптимизации работы подсистемы транспорта информации в ИНС сводится преимущественно к рациональной перегруппировке нейронов на отдельные группы, которые затем будут объединены в одном аппаратном модуле. Эта задача подробно рассмотрена в работе [13].

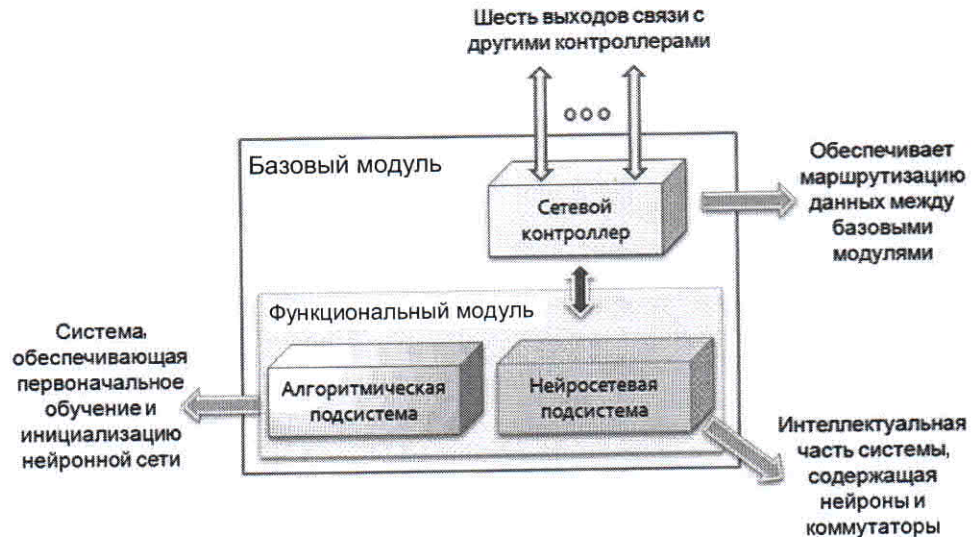


Рис. 3. Структура базового модуля системы на основе технологии МОДУС-НС

Важной и актуальной проблемой при аппаратной реализации фрагментов нейронной сети являются связи нейронов между собой. Нейронная сеть является распределенной системой обработки информации. Можно выделить две основных функции, осуществляемые нейронной сетью: обработка информации и передача с масштабированием информации с выхода одного нейрона на вход другого. В классической нейронной сети обе эти функции осуществляет нейрон. Авторы разработали и описали новые коммутаторные и доменные нейронные сети, которые защищены патентами [4, 5, 8, 11, 12]. Такие нейронные сети состоят не только из нейронов, но включают дополнительные средства передачи данных между нейронами (коммутаторы). Нейрон становится аппаратно проще и выполняет только одну функцию — вычисление выходного значения по функции активации нейрона. Второй особенностью нейрона в построенной таким образом сети является наличие только одного входа и одного выхода.

Коэффициенты масштабирования для каждого нейрона сети могут быть сведены в матрицу W , причем элемент этой матрицы $w[i, j]$ — масштабный коэффициент передачи информации с выхода нейрона i нейрону j . Коэффициенты масштабирования формируются при обучении ИНС и хранятся в коммутаторах сети.

Используя данный метод группирования многократно, можно решить задачу оптимизации трафика информации, разделив ее на следующие стадии:

- разбиение и группировка нейронов на группы;
- разбиение каждой группы на подгруппы определенного размера;
- группировка подгрупп между собой.

Применение технологии МОДУС-НС совместно с коммутаторными и доменными нейронными сетями существенно упрощает реализацию модели надежности ПО на базе ИНС.

Особенность структуры интеллектуальной сети требует нового подхода к ее реализации. Для конкретной реализации использовалась технология построения интеллектуальных сетей МОДУС-НС.

Изначально эту технологию предполагалось использовать для построения больших и сверхбольших ИНС, количество нейронов в которых измеряется миллиардами и триллионами, позволяя создавать интеллектуальные системы, соизмеримые с интеллектом современного человека.

Для таких больших нейронных сетей особенно остро становится вопрос их обучения. Использование различных типов модулей в такой сети позволяет обеспечить первичное обучение ИНС на базе правил нечеткой логики, позволяя строить изначально частично обученные ИНС.

Технология МОДУС-НС предполагает, что ИНС может начать использоваться для управления

сложным техническим объектом до окончания обучения. Процесс обучения разбит на две стадии:

- *первичное обучение*. Осуществляется до начала использования ИНС в качестве системы управления, вне задачи управления;

- *дополнительное обучение*. Осуществляется параллельно с ее производительной работой, во время собственно управления системой. Этот процесс идет постоянно на всем протяжении времени жизни управляющей системы на базе ИНС. Более того, разработаны механизмы переноса знаний утилизируемой системы на вновь создаваемые системы.

Технология МОДУС-НС разрабатывалась, в первую очередь, для реализации аппаратных способов построения ИНС, но может быть осуществлена и программными способами, как в случае данной задачи.

При построении современных систем управления сложными техническими объектами необходимо обеспечить их адаптивность к изменению среды функционирования, причем при отсутствии внешних управляющих и обучающих воздействий.

Для этого класса систем управления и была разработана технология МОДУС-НС, защищенная патентами России на изобретения и полезные модели [9, 14].

В основе технологии МОДУС-НС лежит идея разделения двух основных функций нейронной сети:

- обработки информации;
- передачи информации от одного обрабатывающего модуля другому.

В традиционных нейронных сетях обе эти функции выполняет один и тот же элемент — нейрон. Он традиционно через свои аксоны передает возбуждающее воздействие другим нейронам.

В технологии МОДУС-НС эти две функции разделены. Для принятия решения используется набор решающих элементов. Для передачи информации от одного решающего элемента другим используется специальная транспортная информационная система. Транспорт информации отделен от принятия решения.

Такое разделение позволяет сделать набор элементов, принимающих решение, инвариантным к решаемой задаче и обучению ИНС. При обучении ИНС изменяется информация в транспортной информационной системе, в то время как сам набор элементов, принимающих решение, остается неизменным.

Второй важной особенностью такой ИНС является возможность наличия избыточных элементов принятия решения. Если какие-либо элементы принятия решения не задействованы в работе, информационная транспортная система просто не передает на них возбуждающие воздействия, они остаются в резерве.

При необходимости подключения дополнительных функций в систему или отказе части набора решающих элементов избыточные элементы включаются в работу.

Знания ИНС, полученные в результате обучения, представляют собой информационный массив в информационной транспортной системе. В простейшем случае этот массив может рассматриваться как матрица, элемент которой a_{ij} является значением масштабного коэффициента, на который умножается выход нейрона i при его передаче на вход нейрона j .

Компактное хранение результатов обучения интеллектуальной системы в виде информационного массива позволяет обеспечить достаточно простой экспорт или импорт результата обучения ИНС.

Основой построения больших ИНС является тиражирование фрагментов ИНС, создание ИНС из отдельных однотипных компонентов меньшего размера. Этот принцип заложен в технологию МОДУС-НС.

В нейронной сети выявляются фрагменты максимально связанных между собой элементов принятия решения. Механизм такого выявления рассмотрен в [15, 16]. В его основе лежит анализ связей нейронов между собой, а связь нейронов определяется значениями масштабных коэффициентов a_{ij} .

В результате такого анализа выявляются группы элементов принятия решения (нейронов), максимально связанные между собой. Эти элементы принятия решений целесообразно разместить рядом друг с другом, тогда путь информации от одного элемента к другому будет минимальным.

Можно показать, что такие совокупности элементов решают одну подзадачу общей задачи и являются логически связанными. Эти совокупности элементов принятия решений были названы доменами. Домен, так же как нейрон, является элементом принятия решений. К нему полностью относятся все предыдущие рассуждения.

Группа логически связанных доменов может образовывать домен более верхнего уровня.

Таким образом, ИНС в технологии МОДУС-НС является стратифицированной иерархической структурой, рост которой возможен не только по горизонтали, увеличением количества нейронов, но и по вертикали, увеличением количества уровней иерархии.

Зададим максимальную емкость домена, зафиксируем количество нейронов, которое он может содержать. Тогда при аппаратной реализации ИНС аппаратный модуль должен содержать не менее фиксированного количества нейронов. Этот подход позволяет обоснованно разбить ИНС на ряд отдельных подсетей, каждая из которых может быть размещена в аппаратном модуле системы.

Рассмотрим систему управления достаточно сложным техническим объектом, например, гибкой производственной системой.

Для таких систем управления можно различать два класса задач:

1. Алгоритмизируемые функции, выполнение которых может достаточно просто описываться последовательностью элементарных действий, при выполнении которых имеется однозначная связь исходных данных и требуемого результата.

2. Интеллектуальные функции, выполнение которых производится при неполноте информации о процессе. Работа интеллектуальных функций базируется на методах теории искусственного интеллекта, в настоящее время — в основном на нечеткой логике и искусственных нейронных сетях.

Алгоритмизируемые функции являются интуитивно понятными. Их программирование требует достаточно больших затрат труда, однако теоретических проблем не вызывает. Будучи запрограммированными, они могут быть выполнены на компьютере с фон Неймановской (или близкой) архитектурой, например, на персональном компьютере.

Существенно сложнее реализация методов искусственного интеллекта. Из четырех способов реализации этих методов наибольшее распространение получили два: нечеткая логика (НЛ) и ИНС.

Методы НЛ в известной степени перекликаются с алгоритмическими функциями в части принятия решения, но в них добавлены два основных элемента: переход от четких (фактических) параметров к нечетким (лингвистическим) параметрам в начале работы и переход от нечетких параметров к четким параметрам при выдаче результата [13].

Задачи НЛ могут быть решены на тех же компьютерах, что и алгоритмизируемые функции, хотя вопрос об использовании ИНС в задачах НЛ весьма актуален и в этом случае может потребовать специальных архитектурных решений.

С искусственными нейронными сетями дело обстоит несколько сложнее. Существуют три способа реализации нейронных сетей, причем каждый из них имеет свои преимущества и недостатки.

Программная реализация, предусматривающая моделирование работы ИНС на традиционном компьютере, требует большой ресурсоемкости, которая с увеличением ИНС (ростом количества нейронов в сети) будет непропорционально расти. Компьютер последовательно выполняет операции, причем увеличение количества процессоров в вычислительном комплексе в лучшем случае пропорционально ускоряет его работу. В результате для средних и больших нейронных сетей требуется вычислительная мощность суперкомпьютеров, что в условиях производственной системы управления нереально.

Аппаратная реализация нейронных сетей, когда ИНС является аппаратным решением, сталкивается с серьезной проблемой: в процессе работы ИНС нейроны должны обмениваться результатами

своей работы. Это означает, что к каждому нейрону необходимо подвести линии связи от некоторого подмножества других нейронов, с ним связанных. В мозге человека количество таких связей нейрона оценивается примерно 10^5 . Фактически при аппаратной реализации можно обеспечить не более ста линий связи.

Аппаратно-программная реализация, когда аппаратный комплекс выполняет часть обработки, но имеется существенная программная составляющая.

Первый способ, программная реализация ИНС, возможен на той же компьютерной архитектуре, что и реализация алгоритмизируемых функций, однако потребность в вычислительных ресурсах для средней или большой ИНС значительна, так что говорить о применении персональных или других компьютеров небольшой стоимости не приходится.

Второй способ, аппаратный, плохо согласуется с рассмотренной архитектурой и не имеет достаточно гибкости в применении. Поэтому был выбран третий способ — аппаратно-программная реализация.

Выводы

1. Технология МОДУС-НС может применяться для систем управления сложными техническими объектами. Традиционные устройства управления исполнительными механизмами могут подключаться как периферийные элементы, равно как интерфейсы с оператором или другими информационно-управляющими системами.

2. Технология МОДУС-НС позволяет создавать искусственные нейронные сети, в том числе сети большого размера.

3. Нейронные сети, созданные по технологии МОДУС-НС, обладают заданным уровнем надежности за счет возможности переноса информационной модели нейрона из одного физического модуля в другой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грибков А. А., Григорьев С. Н., Захарченко Д. В. Развитие зарубежного и российского станкостроения // Вестник МГТУ "СТАНКИН". 2012. № 1 (18). С. 9, 10.
2. Григорьев С. Н. Задачи технического перевооружения промышленности // Там же. 2008. № 1. С. 5—7.
3. Соломенцев Ю. М. Современное автоматизированное производство в промышленности // Там же. № 4. С. 125—132.
4. Кабак И. С., Суханова Н. В. Устройство контроля знаний. Пат. на ПМ 80979 приоритет 28.12.2007; Федеральная служба по интеллектуальной собственности. 2009.
5. Кабак И. С., Суханова Н. В. Модульная вычислительная система. Пат. на ПМ 75247 приоритет 26.12.2008; Федеральная служба по интеллектуальной собственности. 2009.

6. Бубнов Д. В. Экспертные системы как средство интеллектуальной поддержки технологических решений // Вестник МГТУ "СТАНКИН", 2011. № 4 (16). С. 83—86.
7. Григорьев С. Н., Андреев А. Г., Мартинов Г. М. Перспективы развития кроссплатформенных компьютерных систем числового программного управления высокотехнологичного оборудования // Автоматизация в промышленности. 2011. № 5. С. 3—8.
8. Андреев А. Г., Григорьев С. Н. Построение компьютерных систем программного управления мехатронными устройствами по модульному принципу // Мехатроника, автоматизация, управление. 2005. № 10. С. 8—13.
9. Кабак И. С., Суханова Н. В. Доменная нейронная сеть. Пат. на ПМ 72084 приоритет 03.12.2007; Федеральная служба по интеллектуальной собственности. 2007.
10. Кабак И. С., Суханова Н. В. и др. Многослойная модульная вычислительная система. Пат. на изобретение 2398281 приоритет 07.11.2008; Федеральная служба по интеллектуальной собственности. 2010.
11. Кабак И. С., Суханова Н. В. Нейронная сеть. Пат. на ПМ 66831 приоритет 02.04.2007; Федеральная служба по интеллектуальной собственности. 2007.
12. Кабак И. С., Суханова Н. В. Ассоциативная память. Пат. на ПМ 77483 приоритет 24.12.2007; Федеральная служба по интеллектуальной собственности. 2007.
13. Кабак И. С., Суханова Н. В. Построение аппаратного комплекса систем управления по технологии МОДУС-НС на примере систем числового управления // Труды XIX Междун. науч.-техн. конф. "Информационные средства и технологии", Москва, 18—20 октября, 2011 г. Т. 3. — М.: Издательский дом МЭИ. С. 57—63.
14. Кабак И. С., Суханова Н. В. и др. Способ построения систем нечеткой логики и устройство для его реализации. Пат. на изобретение 2417442 приоритет 19.12.2008; Федеральная служба по интеллектуальной собственности. 2011.
15. Кабак И. С., Суханова Н. В. Аппаратная реализация ассоциативной памяти произвольного размера // Вестник МГТУ "СТАНКИН". 2010. № 1 (9). С. 135—139.
16. Кабак И. С., Суханова Н. В. Моделирование надежности программного обеспечения систем управления автоматизированными технологическими комплексами на базе искусственного интеллекта // Там же. 2012. № 1 (19). С. 95—99.

MODUS-NS: Technology of realization of the automated control systems on the basis of the big artificial neural networks

I. S. Kabak, N. V. Sukhanova

Moscow State University of Technology (MSTU "STANKIN"), Moscow, Russia

Modern automated control systems in Machine-Building processes are increasingly using non-formal methods of decision-making technology of artificial intelligence. One way to implement intellectual industrial control system is an artificial neural network. This article focuses on technologies of creation of similar networks in the form of a hardware-software unit.

Keywords: artificial neuron networks, architecture, supercomputers.

Кабак Илья Самуилович, профессор кафедры компьютерных систем управления.

Тел. 8 (499) 972-94-40.

E-mail: ikabak@mail.ru

Суханова Наталия Вячеславовна, доцент кафедры компьютерных систем управления.

Тел. 8 (499) 972-94-40.

E-mail: n_v_sukhanova@mail.ru