

УДК 004.89

© И. С. Кабак, С. А. Шептунов, Ю. М. Соломенцев, Н. В. Суханова

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМ АППАРАТОМ С ЭЛЕМЕНТАМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Целью науки является приобретение новых знаний. Существуют сферы, где присутствие человека невозможно. Для приобретения знаний в таких сферах необходимы дистанционно управляемые или автономные исследовательские аппараты. Существенным элементом таких аппаратов является комплекс научных приборов. Статья посвящена основным вопросам, связанным с созданием автономных исследовательских аппаратов, целью которых является получение новых знаний и передача этих знаний оператору аппарата.

Кл. сл.: автономный аппарат, комплекс научных приборов, искусственная нейронная сеть, технология МОДУС-НС, самообучение, извлечение знаний

ВВЕДЕНИЕ

Для исследования мирового океана или дальнего космоса необходимы автономные исследовательские аппараты, обладающие следующими компонентами:

- комплексом научных приборов;
- системой управления на базе искусственно-го интеллекта, способного к самообучению и адаптации к новым условиям и изменению окружающей среды.

Все эти компоненты должны быть тесно интегрированы между собой. Предполагается, что основой для такой интеграции является интеллектуальная система, в состав которой входит искусственная нейронная сеть особого типа [1–2].

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является создание системы управления автономным аппаратом с элементами искусственного интеллекта.

Для успешного функционирования подобных аппаратов необходимо решить следующие задачи.

1. Разработать архитектуру, общие принципы функционирования и методы интеграции комплекса приборов и системы управления.

2. Создать искусственную нейронную сеть (ИНС), в составе которой может быть достаточное количество нейронов.

3. Создать модель внешней среды, где эта ИНС будет функционировать.

4. Разработать методы и алгоритмы быстрого обучения ИНС.

5. Разработать принципы дополнительно обучения ИНС без прерывания процесса ее функционирования.

6. Разработать методы извлечения знаний из обученной ИНС и передачи операторам по каналам связи. Разработать методы представления этих знаний в традиционном виде для восприятия операторами.

7. Обеспечить отказоустойчивость аппаратных средств системы управления, работающей в неблагоприятных условиях внешней среды.

Основой для решения всех последующих задач является разработка структуры и функционала системы управления и ИНС, чему и посвящена настоящая статья.

Решение остальных задач описано в заявках на изобретение, которые находятся в патентном ведомстве на экспертизе.

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЕЕ ИНТЕГРАЦИЯ С КОМПЛЕКСОМ ПРИБОРОВ

Структурно автономный исследовательский аппарат включает следующие обязательные компоненты, см. рис. 1.

1. Комплекс исследовательских, диагностических и навигационных приборов для определения местоположения аппарата, диагностики его функционирования и выполнения целевой задачи исследования.

2. Исполнительные устройства, например устройства управления двигателями, ориентацией в пространстве и т. п.

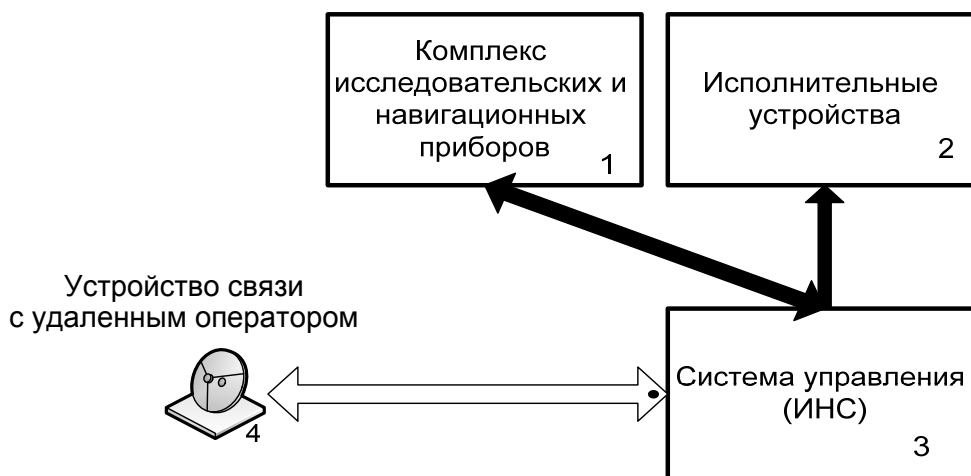


Рис. 1. Структурная схема системы управления для автономного аппарата

3. Собственно система управления как база всего аппарата.

4. Устройство связи с удаленным оператором, которое может использоваться крайне редко, но без которого невозможна передача информации об исследованиях оператору.

РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОММУТАТОРНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Создание и применение больших искусственных нейронных сетей связаны с рядом пока нерешенных проблем:

- сложность создания аппаратных средств для реализации больших искусственных нейронных сетей;

- большое число взаимных связей нейронов друг с другом;

- сложность и затраты времени для их обучения, большой объем обучающей выборки и т. п. [3, 4].

Применение программной реализации больших искусственных нейронных сетей, их моделирование на компьютере создает высокие требования к ресурсам вычислительной системы, что часто приводит к необходимости применения суперкомпьютеров. Применение суперкомпьютеров как бортовых вычислительных систем не всегда возможно из-за ограничений в весе суперкомпьютера, расхода электроэнергии, сложных, дорогих и энергоемких систем отвода тепла. Для бортовых вычислительных систем в составе автономных исследовательских аппаратов эти ограничения особенно актуальны.

Таким образом, возникла необходимость построения высокопроизводительных вычислительных систем, ориентированных на решение задач искусственного интеллекта и имеющих существенно меньшие габариты и энергопотребление, чем используемые в настоящее время.

В соответствии с этими требованиями была разработана технология создания больших искусственных нейронных сетей, названная авторами МОДУС-НС. ИНС, реализованные по этой технологии, обладают высоким уровнем производительности, безопасности, надежности и живучести.

ТЕХНОЛОГИЯ МОДУС-НС

В основе технологии МОДУС-НС лежат следующие принципы [5–7].

Разделение функций традиционного нейрона

В традиционной ИНС нейрон выполняет функцию принятия решения (активации), а также масштабирование входов с учетом их весовых коэффициентов и передачу выходной информации другим нейронам. Разработаны коммутаторные ИНС, где введены дополнительные устройства — коммутаторы, которые выполняют две последние функции. Это позволило существенно упростить нейроны и повысить безотказность ИНС. Коммутаторы выполняют передачу информации между нейронами, создавая специализированную информационно-транспортную сетевую структуру [8–10]. Нейроны связаны только с коммутаторами. Нейроны не связаны непосредственно между собой, следовательно, прямого ограничения на ко-

личество связей между ними не существует. Производительность коммутаторной ИНС зависит от производительности информационно-транспортной структуры [11].

Разделение ИНС на фрагменты

Для создания больших ИНС нам необходимо декомпозировать ИНС, разбить ее на ряд подсетей-фрагментов. Разбиение на фрагменты производится так, чтобы подавляющее большинство нейронов домена было информационно связано с нейронами своего фрагмента и весьма небольшое количество информационно связано с нейронами других фрагментов. Доказательство возможности такого разбиения и его алгоритм приведены в работах [12, 13]. Производительность информационно-транспортной системы существенно увеличится за счет параллельной обработки и передачи информации между фрагментами. Можно также увеличить производительность за счет гиперкубической топологии сети и организации информационно-транспортной среды как распределенной компьютерной сети.

Разделение функций системы управления и реализация функций в отдельном модуле

Предлагается реализовать каждый фрагмент ИНС как аппаратный модуль. Таким образом, система в технологии МОДУС-НС представляет собой набор отдельных унифицированных модулей, соединенных информационно-транспортной системой.

В зависимости от решаемых задач в такой системе будут модули трех классов:

- базовые алгоритмические,
- базовые интеллектуальные,
- периферийные.

Базовый алгоритмический модуль выполняет программу, которая находится в его оперативной памяти, т. е. последовательность арифметических и логических команд процессора. Базовый алгоритмический модуль реализован, как упрощенный компьютер (или контроллер). Высокая производительность модульной вычислительной системы обеспечивается за счет большого количества элементов этого типа и их совместной параллельной работы. В любой вычислительной или интеллектуальной системе имеются задачи, алгоритмы работы которых известны и исследованы. Для таких задач нет смысла использовать ИНС, их существенно проще решать традиционным программным способом.

Базовый интеллектуальный модуль является фрагментом ИНС. Совокупность базовых интеллектуальных модулей и их совместная параллельная работа позволяют создавать большие искусст-

венные нейронные сети, обучить их и реализовать функции искусственного интеллекта, например распознавание изображений, оценку параметров, прогнозирование и др.

Периферийные модули выполняют многочисленные вспомогательные функции:

- координируют работу всей системы в целом;
- синхронизируют работу модулей в составе системы;
- обеспечивают инициализацию системы при ее включении;
- реализуют связь с внешней средой, ввод-вывод данных, взаимодействие с оператором, датчиками и управляющими органами системы управления;
- обнаруживают отказы модулей и проводят реконфигурацию системы, заменяют отказавшие модули резервными;
- выполняют функции маршрутизации и передачи данных в сети с гиперкубической архитектурой.

В случае исследовательского интеллектуально-автономного аппарата именно к периферийным модулям будут подключаться приборы всех типов (исследовательские, навигационные или диагностические).

Для нормального функционирования системы, построенной по технологии МОДУС-НС, необходима передача информации между модулями системы. Это важнейший аспект для большой многомодульной системы. Трафик информации между модулями системы включает решение нескольких задач, в том числе маршрутизации и передачи информации по сети.

УНИФИЦИРОВАННЫЙ МОДУЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Все модули системы, построенной по технологии МОДУС-НС, реализованы на основе единой унифицированной схемы [14], см. рис.2.

Каждый модуль системы имеет встроенный сетевой процессор. Общая структура модулей приведена на рис. 2. Модуль состоит из функционального блока и сетевого процессора. Функциональный блок выполняет конкретные задачи, которые были перечислены выше. Сетевой процессор обеспечивает взаимодействие по сети, т. е. передачу информации, совместную работу модулей. В модуле имеется внутренний скоростной канал, по которому функциональный блок обменивается информацией с сетевым процессором, а через него с другими модулями системы.

Наряду с внутренним каналом связи модуль с помощью сетевого процессора передает и принимает информацию по общей для всей системы сети, для чего используется сетевой процессор.



Рис. 2. Унифицированная структура модулей в системе МОДУС-НС

ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГИПЕРКУБИЧЕСКОЙ СЕТИ

Для обеспечения высокой пропускной способности общей системной сети в технологии МОДУС-НС предлагается использовать сеть с гиперкубической топологией. Гиперкубическая топология сети позволяет одновременно параллельно передавать информацию по k разным каналам связи, где k рассчитывается по формуле

$$k = 2^{n-2} \times C_n^2 = 2^{n-2} \times n! / (2 \times (n-2)!),$$

где n — число модулей в системе или число узлов в гиперкубической сети [15].

Гиперкубическая топология сети позволяет существенно увеличить пропускную способность информационно транспортной подсистемы. В проведенных экспериментах использовалась кубическая сеть, когда модуль имеет форму куба, у которого шесть внешних граней и соответственно шесть разных внешних каналов связи.

Передача информации в системе МОДУС-НС осуществляется по номерам маршрутов. Маршрут передачи информации построен на основе пары (отправитель—получатель) и обеспечивает передачу фрагмента информации от модуля-отправителя к модулю-получателю через транзитные (промежуточные) модули [16]. Для транзитных модулей информационный пакет передается с одного из входов сетевого процессора на один из его выходов.

ВЫВОДЫ

Сформулированы основные задачи, которые необходимо решить при разработке бортовой системы управления для автономного исследовательского аппарата.

Разработана архитектура бортовой системы управления автономного исследовательского аппарата. Предложена система управления, реализованная по модульному принципу, где использованы алгоритмические и интеллектуальные модули.

Установлена связь модулей с функциями, выполняемыми системой управления.

Показано, что разработанная ранее для систем управления технология МОДУС-НС применима для автономных исследовательских аппаратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кабак И.С., Суханова Н.В. Технология реализации автоматизированных систем управления на базе больших искусственных нейронных сетей МОДУС-НС // Межотраслевая информационная служба. 2012. № 4. С. 43–47.
2. Степанов С.Ю., Кабак И.С. Алгоритм фрагментации больших нейронных сетей и исследование его сходимости // Информационные технологии. 2012. № 7. С. 73–78.
3. Кабак И.С. Создание больших аппаратно-программных нейронных сетей для систем управления // Авиационная промышленность. 2012. № 4. С. 57–61.
4. Соломенцев Ю.М., Шептунов С.А., Кабак И.С., Суханова Н.В. Повышение быстродействия суперкомпьютера за счет оптимизации информационного межпроцессорного трафика // Известия Кабардино-балкарского государственного университета. 2012. Т. 2, № 4. С. 71–73.
5. Кабак И.С. Нейросетевая модель для прогнозирования и оценки надежности программного обеспечения // Вестник МГТУ "Станкин". 2014. Т. 28, № 1. С. 107–111.
6. Кабак И.С., Суханова Н.В. Нейронная сеть. Патент на полезную модель № 66831, приоритет 02.04.2007.
7. Кабак И.С., Суханова Н.В. Доменная нейронная сеть. Патент на полезную модель № 72084, приоритет 03.12.2007.
8. Кабак И.С., Суханова Н.В. Модульная вычислительная система. Патент на полезную модель № 75247, приоритет 26.12.2008.
9. Соломенцев Ю.М., Шептунов С.А., Кабак И.С., Суханова Н.В. Многослойная модульная вычислительная система. Патент на изобретение № 2398281, приоритет 07.11.2008.
10. Кабак И.С., Суханова Н.В. Аппаратная реализация ассоциативной памяти произвольного размера // Вестник МГТУ "Станкин". 2010. Т. 9, № 1. С. 135–138.
11. Кабак И.С., Суханова Н.В., Гаделев А.М. Применение нейронных сетей при диагностике состояния режущего инструмента // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. 2012. Т. 2, № 4.

- С. 77–79.
12. Кабак И.С., Суханова Н.В., Гаделев А.М. Методика применения аппарата нейронных сетей для решения задач диагностики процесса резания // Вестник МГТУ "Станкин". 2012. Т. 23, № 4. С. 130–133.
 13. Кабак И.С., Гаделев А.М. Система диагностики технологического процесса резания с использованием аппарата нейронных сетей // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 10. С. 25–29.
 14. Sheptunov S.A., Larionov M.V., Sukhanova N.V., Kabak I.S., Alshinbaeva D.A. Optimimization of the complex software reliability of control systems // IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&MQ&IS 2016). PROCEEDINGS 2016. P. 189–192. Doi: 10.1109/ITMQIS.2016.7751955.
 15. Sheptunov S.A., Larionov M.V., Sukhanova N.V., Salakhov M.R., Solomentsev Y.M., Kabak I.S. Simulating of reliability of robotics system software on basis of artificial intelligence // IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&MQ&IS 2016). PROCEEDINGS 2016. P. 193–197. Doi: 10.1109/ITMQIS.2016.7751956.
 16. Solomentsev Yu.M., Kabak I.S., Sukhanova N.V. Assess-

ing the reliability of CAD software by means of neural networks // Russian Engineering Research. 2015. Vol. 35, no. 12. P. 879–882. Doi: 10.3103/S1068798X15120187.

Московский государственный технологический университет "СТАНКИН" (Кабак И.С., Суханова Н.В.)

Институт конструкторско-технологической информатики РАН, Москва (Шептунов С.А., Соломенцев Ю.М.)

Контакты: Кабак Илья Самуилович,
ikabak@mail.ru

Материал поступил в редакцию: 10.04.2017

AUTONOMOUS RESEARCH INTELLIGENT VEHICLES

I. S. Kabak¹, S. A. Sheptunov², Yu. M. Solomentsev², N. V. Sukhanova¹

¹Moscow State Technological University "STANKIN", RF

²Institute of Design-Technology Informatics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, RF

The purpose of science is acquisition of new knowledge. There are spheres where presence of the person is impossible. Remotely-controlled or autonomous research vehicles are necessary for acquisition of knowledge in such spheres. An essential element of such devices is the complex of scientific devices. This work is devoted to the main questions connected with creation of autonomous research vehicles which purpose is receiving new knowledge and transfer of this knowledge to the operator of the device.

Keywords: independent device, complex of scientific devices, artificial neural network, MODUS-NS technology, self-training, extraction of knowledge interferometry, phase volume environments

REFERENCES

- Kabak I.S., Sukhanova N.V. [Technology of realization of the automated control systems on the basis of the MODUS-NS big artificial neural networks]. *Mezhotraslevaya informacionnaya sluzhba* [Interindustry information service], 2012, no. 4, pp. 43–47. (In Russ.).
- Stepanov S.Yu., Kabak I.S. [Convergence analysis of commutated neural networks traffic reduction algorithm]. *Informacionnye tehnologii* [Information Technologies], 2012, no. 7, pp. 73–78. (In Russ.).
- Kabak I.S. [Creation of big hardware-software neural networks for management systems]. *Aviacionnaya promyshlennost'* [Aviation industry], 2012, no. 4, pp. 57–61. (In Russ.).
- Solomencev Yu.M., Sheptunov S.A., Kabak I.S., Sukhanova N.V. [Increase of speed of a supercomputer at the expense of optimization of the information interprocessor traffic]. *Izvestiya Kabardino-balkarskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceeding of the Kabardino-Balkarian State University], 2012, vol. 2, no. 4, pp. 71–73. (In Russ.).
- Kabak I.S. [Neural network model for prediction and reliability assessment of the software]. *Vestnik MGTU "Stankin"* [Bulletin of MSTU of Stankin], 2014, vol. 28, no. 1, pp. 107–111. (In Russ.).
- Kabak I.S., Sukhanova N.V. *Nejronnaya set'* [Neural network]. Patent RF on useful model no. 66831. Prioritet 02.04.2007. (In Russ.).
- Kabak I.S., Sukhanova N.V. *Domennaya nejronnaya set'* [Domain neural network]. Patent RF on useful model no. 72084. Prioritet 03.12.2007. (In Russ.).
- Kabak I.S., Sukhanova N.V. *Modul'naya vychislitel'naya sistema* [Modular computing system]. Patent RF on useful model no. 75247. Prioritet 26.12.2008. (In Russ.).
- Solomentsev Yu.M., Sheptunov S.A., Kabak I.S., Sukhanova N.V. *Mnogoslojnnaya modul'naya vychislitel'naya sistema* [Multilayered modular computing system]. Patent RF no. 2398281. Prioritet 07.11.2008. (In Russ.).
- Kabak I.S., Sukhanova N.V. [Hardware realization of associative memory of any size]. *Vestnik MGTU "Stankin"* [Bulletin of MSTU "Stankin"], 2010, vol. 9, no. 1, pp. 135–138. (In Russ.).
- Kabak I.S., Sukhanova N.V., Gadelev A.M. [The use of artificial neural networks in the diagnosis of cutting tools]. *Izvestiya Kabardino-balkarskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceeding of the Kabardino-Balkarian State University], 2012, vol. 2, no. 4, pp. 77–79. (In Russ.).
- Kabak I.S., Sukhanova N.V., Gadelev A.M. [Technique of use of the office of neural networks for the solution of problems of diagnostics of process of cutting]. *Vestnik MGTU "Stankin"* [Bulletin of MSTU "Stankin"], 2012, vol. 23, no. 4, pp. 130–133. (In Russ.).
- Kabak I.S., Gadelev A.M. [System of diagnostics the technological process of cutting with the using artificial neural networks]. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, automation, control], 2012, no. 10, pp. 25–29. (In Russ.).
- Sheptunov S.A., Larionov M.V., Sukhanova N.V., Kabak I.S., Alshinbaeva D.A. Optimimization of the complex software reliability of control systems. *IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&MQ&IS 2016)*, PROCEEDINGS 2016, pp. 189–192. Doi: 10.1109/ITMQIS.2016.7751955.
- Sheptunov S.A., Larionov M.V., Sukhanova N.V., Salakhov M.R., Solomentsev Y.M., Kabak I.S. Simulating of reliability of robotics system software on basis of artificial intelligence. *IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&MQ&IS 2016)*, PROCEEDINGS 2016, pp. 193–197. Doi: 10.1109/ITMQIS.2016.7751956.
- Solomentsev Yu.M., Kabak I.S., Sukhanova N.V. Assessing the reliability of CAD software by means of neural networks. *Russian Engineering Research*, 2015, vol. 35, no. 12, pp. 879–882. Doi: 10.3103/S1068798X15120187.

Contacts: Kabak Il'ya Samuilovich,
ikabak@mail.ru

Article received in edition: 10.04.2017