

О ДВУХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ПОДХОДАХ К ПОСТРОЕНИЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ БОРТОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ СОВРЕМЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Л.В. Савкин¹, В.Г. Дмитриев²

¹ ПАО «Радиофизика», Москва

² КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга
android4.1@mail.ru

В работе освещаются проблемы и перспективы построения интеллектуальных бортовых измерительно-вычислительных и управляющих комплексов современных космических аппаратов на базе искусственных нейронных сетей. Рассмотрены известные архитектуры нейропроцессоров, используемые в БИВУК нескольких типов современных космических аппаратов. Показаны способы аппаратной реализации многослойных перцептронов с динамически перестраиваемыми каналами весовых коэффициентов на базе радиационностойких программируемых логических интегральных схем класса FPGA. Рассмотрены перспективные подходы по реализации искусственных нейронных сетей в БИВУК, базирующиеся на идеях 3D-кремниевых технологий.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть; весовой коэффициент; синапс; программируемая логическая интегральная схема; архитектура; 3D-кремниевые технологии.

Введение

Развитие современных информационных технологий в области искусственного интеллекта неразрывно связано с теми достижениями, которые мы имеем сегодня благодаря непрерывно растущему разнообразию подходов к построению искусственных нейронных сетей (ИНС). Вместе с тем нельзя не отметить, что довольно значительная часть работ, встречающихся по данной предметной области, носит крайне поверхностный характер, заключающийся в «модном» пересказывании сугубо обобщенных положений ИНС с неквалифицированных субъективных позиций. В подобных работах не принимается во внимание просто колоссальное разнообразие видов ИНС, не говоря уже о числе их комбинированных модификаций и способах их аппаратно-программной реализации.

Вторым важным моментом является тот факт, что существует довольно распространенное заблуждение о том, что если речь идет об ИНС, то, следовательно, мы говорим и об интеллектуальной системе, поскольку алгоритмы в ней реализуются тем или иным типом нейронной сети. Заблуждение в данном случае заключается в ошибочном проведении полного соответствия между двумя системами, одна из которых функционирует на основе сложного комплекса адаптивных алгоритмов, реализуемых посредством ИНС и в совокупности образующих интеллектуальную систему, а вторая решает узконаправленные задачи (к примеру, задачу распознавания) с использованием ИНС.

В данной работе рассматриваются два перспективных подхода к построению интеллектуальных бортовых измерительно-вычислительных и управляющих комплексов (БИВУК) современных космических аппаратов (КА), базирующиеся на аппаратных способах реализации ИНС.

Цель работы – исследование аппаратных способов реализации ИНС в интеллектуальных БИВУК современных КА.

Особенности реализации ИНС в БИВУК современных КА

Современные БИВУК представляют собой сложные высокоинтегрированные информационно-измерительные и управляющие системы [2, 4, 5]. Наиболее распространенными способами реализации ИНС в БИВУК современных КА являются использование специализированных нейропроцессоров и программная эмуляция ИНС. Основными достоинствами БИВУК, использующих модели ИНС, является возможность решения широкого класса нелинейных задач, использование опыта решения предыдущих задач на основе самообучения (адаптивные методы решения задач), возможность работы с неструктурированными потоками данных и многое другое.

Известные на сегодняшний день модели ИНС классифицируются в соответствии со следующими критериями [1, 8]:

- по характеру обучения (с учителем и без учителя);
- по факту наличия либо отсутствия настройки весов (фиксированные и динамические);
- по типу входной информации (цифровые и аналоговые);
- по базовой модели НС (прямого распространения, рекуррентные, радиально-базисные, самоорганизующиеся карты и др.).

Для моделирования различных типов ИНС сегодня существует большое число профессиональных программных симуляторов: NeuralWorks Professional, NeuroSolution и многие другие.

В качестве одной из ключевых проблем, возникающих при построении БИВУК КА на базе сложных ИНС, является реализация динамически перестраиваемых весовых коэффициентов синапсов (синаптические межслойные связи).

В рамках данной работы рассматриваются два аппаратных подхода по реализации ИНС в составе БИВУК для решения широкого класса задач распознавания и обработки сигналов на фоне больших шумов. При этом особое внимание уделено способам аппаратной реализации ИНС с динамически перестраиваемыми весовыми коэффициентами синаптических связей.

Подходы к построению интеллектуальных БИВУК КА на базе ИНС

Оба предлагаемых подхода подразумевают, как уже отмечалось выше, преимущественно аппаратную реализацию всех моделей ИНС, входящих в состав БИВУК. В первом случае в качестве основной элементной базы ИНС предлагается использовать радиационностойкие программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) класса FPGA. Во втором случае рассматриваются успешно развиваемые сегодня 3D-кремниевые технологии.

Рассмотрим основные особенности каждого из подходов более подробно.

Суть первого подхода заключается в использовании унифицированных постоянных логико-арифметических архитектур, состоящих из постоянных матричных наборов конфигурируемых логических блоков (КЛБ) реконфигурируемых вычислительных структур [3]. Ввиду невозможности реализовать динамическую реконфигурацию ПЛИС в режиме реального времени [6], предлагается использовать модели ИНС с архитектурами типа «Исчезаю-Появляюсь», которые были рассмотрены в [7]. Практическая реализация данной модели в составе ПЛИС заключается в предварительном разбиении поля КЛБ на матричный набор реконфигурируемых фрагментов (участков). По-

сле чего, на базе каждого из фрагментов реализуется часть ИНС, соответствующая конкретной задаче (распознавание, фильтрация и т.п.). Первоначальная процедура структурной «настройки» архитектуры типа «Исчезаю-Появляюсь» будет заключаться в адаптации архитектуры каждого фрагмента ИНС к необходимым значениям весовых коэффициентов на нижнем аппаратном уровне. Далее путем коммутации фрагментов поля КЛБ на верхнем аппаратном уровне можно будет реализовать несколько различных моделей ИНС, включая требуемые перекрестные и обратные связи между внутренними слоями искусственных нейронов. Достоинством данного подхода является возможность практической реализации достаточно широкого класса ИНС цифрового типа. В качестве одного из существенных недостатков данного подхода будет выступать крайне узкая номенклатура ПЛИС, способных аппаратным образом «построить» требуемые в БИВУК КА виды ИНС.

Идея второго подхода связана с возможностью реализации трехмерных вычислений на базе многослойных полупроводниковых архитектур, которые могут быть задействованы в бортовых системах КА благодаря активно развивающимся в настоящее время 3D-кремниевым технологиям. По аналогии с двумерными архитектурами, трехмерные архитектуры также позволяют реализовывать широкий класс ИНС, экономя при этом в значительной степени на топологические ограничения по реконфигурации КЛБ.

Заключение

Построение интеллектуальных БИВУК на базе ИНС для решения широкого спектра служебных и целевых задач в составе КА само по себе является перспективным направлением. Наиболее распространенными способами реализации ИНС в БИВУК современных КА являются использование специализированных нейропроцессоров и программная эмуляция ИНС. Кроме широко распространенных программных подходов существуют также и аппаратные, двум из которых посвящена данная работа.

Первый аппаратный подход основан на использовании унифицированных архитектур ПЛИС, получивших название «Исчезаю-Появляюсь». Достоинство данного подхода заключается в возможности реализации достаточно широкого класса ИНС цифрового типа. Недостаток - узкая номенклатура ПЛИС, способных реализовать требуемый набор ИНС.

Второй подход основан на использовании в аппаратной реализации ИНС многослойных ПЛИС, построенных по 3D-кремниевым технологиям. Несмотря на отсутствие данных типов ПЛИС на отечественном и зарубежном рынке, многие теоретические аспекты аппаратной реализации трехмерных ИНС для различных бортовых систем КА сегодня активно прорабатывается.

Литература

1. *Болотова Л.С.* Системы искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях: учебник / ФГБОУ ВПО РГУИТП; ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информатика». – М.: Финансы и статистика, 2012. - 664 с.
2. *Бровкин А.Г., Бурдыгов Б.Г., Гордийко С.В.* и др. Бортовые системы управления космическими аппаратами / Под ред. проф. *А.С. Сырова*. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. - 304 с.
3. *Каляев И.А., Левин И.И., Семерников Е.А., Шмойлов В.И.* Реконфигурируемые мультиконвейерные вычислительные структуры / Под общ. ред. *И.А. Каляева*. 2-е изд., перераб., доп. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. - 344 с.
4. *Кравец В.Г.* Автоматизированные системы управления космическими полетами.

М.: Машиностроение, 1995. - 256 с.

5. *Микрин Е.А.* Бортовые комплексы управления космическими аппаратами и проектирование их программного обеспечения. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 336 с.

6. *Савкин Л.В.* О проблеме динамической реконфигурации диагностических моделей в реконфигурируемой системе функционального контроля и диагностики бортового комплекса управления космического аппарата / Решетневские чтения: материалы XIX Междунар. науч. практ. конф., посвящ. 55-летию Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. акад. М.Ф. Решетнева (10–14 нояб. 2015, г. Красноярск): в 2 ч. – Ч. 1. / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2015. С. 252-253.

7. *Савкин Л.В., Дмитриев В.Г., Федоров Е.А.* Бортовые мультиагентные системы обработки данных космических аппаратов на базе реконфигурируемых вычислительных полей / Труды 58 научной конференции МФТИ: тезисы (электронный сборник), МФТИ, г. Долгопрудный, 2015. URL: http://conf58.mipt.ru/static/reports_pdf/17.pdf (дата обращения: 10.12.2015).

8. *Терехов В.А.* Нейросетевые системы управления: Учеб. Пособие для вузов / *В.А. Терехов, Д.В. Ефимов, И.Ю. Тюкин.* – М.: Высш. Шк. 2002. – 183 с.