

Розробка методів і засобів апаратно-програмної реалізації нейроконтролерів на основі програмованих логічних інтегральних схем для побудови інтелектуальних систем управління

Разработка методов и средств аппаратно-программной реализации нейроконтроллеров на основе программируемых логических интегральных схем для построения интеллектуальных систем управления

Development of methods and facilities vehicle-programmatic realization of neurocontroller on the basis of the programmable logic integrated circuit for the construction of intellectual control system

- 1. Номер державної реєстрації теми - 0113U000223, НТУУ «КПІ» - 2617-п.**
- 2. Науковий керівник - д.ф.-м.н., проф. Дорошенко А.Ю., Дорошенко А.Ю., A.Doroshenko**
- 3. Суть розробки, основні результати.
(укр.)**

Нейромережеві системи управління відносяться до класу інтелектуальних систем і є одним із можливих варіантів побудови адаптивних та самоналагоджуваних систем управління складними динамічними об'єктами, що можуть функціонувати в умовах структурної, параметричної та інформаційної невизначеності. Такі системи здатні керувати об'єктами будь якої складності але мають проблеми з навчанням та адаптацією їх в реальному часі. Вирішення цих проблем можливо за рахунок використання оптимальних по складності нейромережевих структур, які реалізуються апаратними засобами з великою швидкістю, розпаралеленими обчислювальними процедурами, заміною процедур навчання нейромереж їх налаштуванням.

На даний час існує широка гамма апаратних засобів реалізації елементів нейромережевих систем управління, зокрема це нейросигнальні, цифрові сигнальні та систолічні процесори, замовлені нейрочіпи та ПЛІС-структури. Кожний із них мають ряд переваг і недоліків, які пов'язують з вартістю реалізації, наявністю засобів розробки та програмування, сумісністю з іншими елементами системи, енергоспоживанням та іншим. В цьому відношенні найбільш перспективними засобами є ПЛІС-структури, які в порівнянні з іншими є універсальними, відносно простими та дешевими обчислювачами, дозволяють організувати паралельні обчислювальні структури, мають велику швидкість та добре розроблені засоби програмування.

В роботі розроблена концепція та методики реалізації нейромережевих систем управління на апаратній платформі ПЛІС, які реалізують структурні елементи адаптивних систем управління: моделі об'єктів, регулятори, ідентифікатори станів об'єкта, фільтри та інше, а також розпаралелені обчислювальні процедури налагодження згаданих нейромережевих елементів і системи в цілому шляхом використання еволюційних технологій оптимізації. Проведено дослідження апаратних затрат ПЛІС для реалізації нейромережевих структур різної конфігурації, розроблено та виготовлено макет нейроконтролера на основі ПЛІС з технічною документацією на нього.

Для розробки, моделювання, дослідження, наладки та реалізації нейромережевих елементів та систем управління на їх основі в роботі розроблено спеціалізоване програмне середовище, яке базується на програмних пакетах SystemGeneratorfor DSP Xilinx, MATLAB і LabVIEW.

(рос.)

Нейросетевые системы управления относятся к классу интеллектуальных систем и являются одним из возможных вариантов построения адаптивных и самонастраиваемых систем управления сложными динамическими объектами, которые могут функционировать в условиях структурной, параметрической и информационной

неопределенности. Такие системы способны управлять объектами любой сложности, но имеют проблемы с обучением и адаптацией их в реальном времени. Решение этих проблем возможно за счет использования оптимальных по сложности нейросетевых структур, которые реализуются аппаратными средствами с большим быстродействием, распаралеленными вычислительными процедурами, заменой процедур обучения нейросетей их настройкой.

На данное время существует широкая гамма аппаратных средств реализации элементов нейросетевых систем управления, в частности это нейросигнальные, цифровые сигнальные и систолические процессоры, заказанные нейрочипы и ПЛИС. Каждый из них имеет ряд преимуществ и недостатков, которые связывают со стоимостью реализации, наличием средств разработки и программирования, совместимостью с другими элементами системы, энергопотреблению и другому. В этом отношении наиболее перспективными средствами являются ПЛИС, которые в сравнении с другими являются универсальными, относительно простыми и дешевыми вычислителями, позволяют организовывать параллельные вычислительные структуры, имеют большое быстродействие и хорошо разработанные средства программирования.

В работе разработана концепция и методики реализации нейросетевых систем управления на аппаратной платформе ПЛИС, которые реализуют структурные элементы адаптивных систем управления: модели объектов, регуляторы, идентификаторы состояний объекта, фильтры и другие, а так же распаралеленные вычислительные процедуры налаживания упомянутых нейросетевых элементов и системы в целом путем использования эволюционных технологий оптимизации. Проведено исследование аппаратных затрат ПЛИС для реализации нейросетевых структур разной конфигурации, разработан и изготовлен макет нейроконтролера на основе ПЛИС и техническая документация на него.

Для разработки, моделирования, исследования, наладки и реализации нейросетевых элементов и систем управления, на их основе в работе разработана специализированная программная среда, которая базируется на программных пакетах SystemGenerator for DSP Xilinx, MATLAB и LABVIEW.

(англ.)

Neural network systems belong to the class of intelligent systems and are one of possible variants of adaptive and self-adjusting control systems for complex dynamic objects that can operate under structural, parametric and information uncertainty. These systems are able to control objects of any complexity but have problems with learning and adapting them in real time. Solving these problems is possible through the use of neural network structures of optimal complexity, implemented in hardware with a high speed, concurrent computing, and replacement of neural network learning procedures with their adjustment.

Currently, there is a wide range of hardware implementation of neural network elements in control systems, particularly neurosignal, digital signal and systolic processors, ordered neurochips and PLA structures. Each of them have some advantages and disadvantages that are associated with the cost of implementation, availability of development and programming tools, compatibility with other elements of the system, energy consumption and others. At that point, the most promising tools are PLA structures, that in comparison with other are universal, relatively simple and cheap computing tools, allow organizing parallel computing structures, having great speed and well-designed programming tools.

In this paper was developed the concept and methodology of implementation of neural network control system on a hardware platform PLAs, that implement structural elements of adaptive control systems: the object models, controllers, identifiers of states of the object, filters, etc., as well as concurrent computing procedures for these neural elements and the whole system adjustment by using evolutionary optimization technology. Was conducted the research of PLA hardware cost for implementation of neural network structures with different configurations, was

designed and manufactured neurocontroller layout based on PLAs and technical documentation for it.

For the development, design, research, adjustment and implementation of neural network elements and control systems based on them in the work was developed specialized software environment that is based on software packages System Generator for DSP Xilinx, MATLAB and LabVIEW.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.
Немає

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати відповідають світовому рівню, так як реалізація нейромережових структур виконана на сучасній елементній базі світових виробників і використовує програмні засоби, які реалізовані на сучасних мовах програмування, а підходи до реалізації адаптивних систем управління динамічними об'єктами на основі розроблених нейромережових структур виконані вперше.

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Застосування розроблених елементів дозволяє значно підвищити швидкодію систем керування, що значно розширює коло можливостей для створення адаптивних та самоналагоджуваних систем керування складними динамічними об'єктами.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Складні для управління динамічні об'єкти, що функціонують в умовах невизначеності, мають місце в промисловості, в металургії та енергетиці, на транспорті, зокрема при управлінні літальними апаратами, роботами, турбогенераторами, складними технологічними процесами та інше. Одержані результати роботи можуть використовуватися в подальших теоретичних та практичних дослідженнях спрямованих на розвиток технологій керування складними об'єктами, при розробці, проектуванні та впровадженні в практику конкретних систем керування, при підготовці фахівців та як комерційні технології на ринку апаратних та програмних засобів проектування та реалізації систем управління. Замовниками та користувачами таких систем управління та програмного забезпечення для проектування та моделювання систем управління можуть бути підприємства та науково-дослідні заклади міністерства транспорту і зв'язку, міністерства промислової політики, міністерства палива та енергетики, міністерства освіти та науки, Національна академія наук України, колективи проектувальників засобів автоматизації технологічних процесів та автоматизованих систем управління, студенти та викладачі з дисциплін, що пов'язані з технічними та програмними засобами проектування та експлуатації систем управління.

8. Стан готовності розробки.

Розроблені методики синтезу нейромережових елементів на основі ПЛІС, методики синтезу адаптивних нейромережових систем керування складними динамічними об'єктами на основі реалізованих нейромережових структур, технічну документацію макетного зразка нейроконтролера на ПЛІС; програмні засоби для синтезу, моделювання, налагодження та дослідження елементів нейромережових систем керування та систем в цілому можуть бути передані зацікавленим замовникам.

9. Існуючі результати впровадження.

Результати роботи використано при модернізації автоматизованої системи управління технологічним процесом вирощування штучних алмазів (Інститут надтвердих матеріалів НАНУ, м. Київ). Результати роботи впроваджено у навчальний процес кафедри

«Автоматики та управління в технічних системах» при викладанні 2-х дисциплін: «Проектування комп'ютеризованих систем управління», де введено новий розділ «Регулятори на основі апаратної реалізації нейромережових структур», та «Технології штучного інтелекту в управлінні», де викладається новий розділ «Адаптивні нейромережові системи керування складними динамічними об'єктами на основі апаратно-програмної реалізації елементів системи», а також лабораторні роботи в рамках цих дисциплін: «Синтез та дослідження нейромережового ПД-регулятора», «Адаптивний нейромережовий ПД-регулятор», «Побудова нейромережової моделі одновимірного об'єкту керування», «Побудова нейромережового ідентифікатора змінних стану». Передбачається впровадження матеріалів роботи в електронну навчальну базу для дистанційного навчання і спеціальної підготовки студентів та аспірантів.

За тематикою виконаної роботи підготовлена до захисту кандидатська дисертація на тему «Моделі та методи синтезу апаратно-програмних компонентів нейромережових систем управління» за спеціальністю 05.13.05 «Комп'ютерні системи та компоненти», автор Шимкович В.М.

10. Назва організації, телефон, E-mail

НТУУ"КПІ", факультет інформатики та обчислювальної техніки, НДІ інформаційних процесів,

406-83-46, peter_kravets@yahoo.com

Макет нейромережового контролера системи стабілізації рухомого об'єкта з його апаратно-програмною реалізацією на FPGA



Зовнішній вигляд нейроконтролера



11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

За період виконання роботи опубліковано 30 робіт, з них в вітчизняних фахових виданнях 17, з них що входять до наукометричних баз даних 7, закордоном 5. Взято участь в 14 конференціях.

1. Anatoliy Doroshenko, Kostiantyn Zhreb Parallelizing Legacy Fortran Programs Using Rewriting Rules Technique and Algebraic Program Models // «ICT in Education, Research, and Industrial Applications» 8th International Conference, ICTERI 2012, Kherson, Ukraine, June 6-10, 2012, Revised Selected Papers.–Communications in Computer and Information Science.—Springer, Vol. 347, 2013.—PP. 35-59.
2. Igor Lihatsky, Anatoliy Doroshenko, and Kostiantyn Zhreb, A Template-Based Method to Create Efficient and Customizable Object-Relational Transformation Components, in H.C. Mayr et al. (Eds.): UNISCON 2012, LNBIP 137, pp. 178--184. Springer, Heidelberg (2013).
3. І.В. Оконський, А.Ю. Дорошенко, К.А. Жереб, Інструментальні засоби моделювання гетерогенних середовищ заснованих на відеографічних прискорювачах // Проблеми програмування. – 2013. – № 1. –С. 107-115.
4. Іваненко П.А., Дорошенко А.Ю. "Засоби створення систем автоматичного настроювання для ефективного виконання прикладних паралельних програм" // Інформаційні технології в освіті. – 2013. – №14. – С.17-21.
5. А.Ю. Дорошенко, І.В. Оконський, К.А. Жереб, О.Г. Бекетов. Використання засобів моделювання для визначення оптимальних параметрів виконання програм на відеографічних прискорювачах // Проблеми програмування. – 2013. – № 2. – С. 23–31.
6. Anatoliy Doroshenko, Kostiantyn Zhreb, Olena Yatsenko, Using Algebra-Algorithmic and Term Rewriting Tools for Developing Efficient Parallel Programs // CEUR Online Proceedings, ISSN 1613-0073: Proc. of the 9th Int. Conf. on ICT in Education, Research

- and Industrial Applications: Integration, Harmonization and Knowledge Transfer (ICTERI 2013), Kherson, Ukraine, June 19-22.- vol.1000, 2013.-P.38-46.
7. А.Ю. Дорошенко, К.А. Жереб, О.А. Яценко, П.А. Иваненко Програмний комплекс для автоматизації програмування високопродуктивних обчислень // Тези Міжнародної конференції «Сучасна інформатика: проблеми, досягнення та перспективи розвитку» присвячена 90-річчю від дня народження академіка В.М. Глушкова.-2013.- Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України.- С. 176.
 8. Акуловский В.Г., Дорошенко А.Е. Состав и свойства данных, специфицируемых в композиционных схемах алгоритмов // Проблемы програмування.- 2013, №2.- С.3-12.
 9. Дорошенко А.Ю. Оконський І.В., Жереб К.А., Бекетов О.Г. Використання засобів моделювання для визначення оптимальних параметрів виконання програм на відеографічних прискорювачах // Проблемы програмування.- 2013, №2.- С. 23-31.
 10. Акуловский В.Г., Дорошенко А.Е. Описание параллелизма в алгоритмах информационно-управляющих систем средствами алгебраического аппарата // Проблемы програмування.- 2013, №3.- С.13-21.
 11. Дорошенко А.Ю. Бекетов О.Г., Жереб К.А., Яценко О.А. Формалізоване проектування та синтез паралельних програм для відеографічних прискорювачів // Проблемы програмування.- 2013, №3.- С. 38-46.
 12. А.У. Doroshenko, К.А. Zhereb, О.Г. Beketov, М.В. Gnynjuk. Modeling system for GPU parallel tasks performance simulation // Proc. Int. Conf. "High Performance Computing" HPC-UA'2013 (Kyiv, Ukraine, October 7-11, 2013). – 2013. – P. 118-124
 13. Кравец П.И., Лукина Т.И, Жеребко В.А., Шимкович В.М. Двухэтапная оптимизация в многообъектных иерархических системах управления на базе генетических алгоритмов // Сборник трудов XIII международной научной конференции имени Т. А. Таран «Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2013», Киев, 15-17 мая 2013 г. : сб. тр. – К. : Просвіта, 2013.
 14. П.І. Кравець, В.М. Шимкович, І.І. Ткач Розробка технології оцінювання показників нейромережових моделей об'єктів управління // Тези доповідей міжнар. наук.-практ. конф. «Обчислювальний інтелект» (ComInt – 2013).
 15. Кравець П.І., Лукіна Т.Й., Жеребко В.А., Шимкович В.М. Програмні засоби реалізації оптимізаційних алгоритмів керування складними технічними системами та комплексами // Матеріали 15-ї Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2013, Київ, 27-31 мая 2013 р. / ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ». – К.: ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2013. – 516 с.
 16. Кравец П.И., Шимкович В.Н. Метод оптимизации весовых коэффициентов нейронных сетей с помощью генетического алгоритма при реализации на программируемых логических интегральных схемах // Международный научно-технический журнал Электронное моделирование. – 2013. – 35, №3. – С. 65-75.
 17. Кравец П.И., Тугай С.Б. Прецизионное управление параметрами импульсных газоразрядных источников электронов. Сб. «Электроника и связь» №4, 2013. с. 21-27.
 18. В.Г. Акуловский, А.Е. Дорошенко, Согласованное описание алгоритмов в рамках алгебраического аппарата // Проблемы програмування.- 2014, №2-3.- С.29-37.
 19. А.Ю. Дорошенко, О.Г. Бекетов, В.А. Прусов, Ю.М. Тирчак, О.А.Яценко, Формалізоване проектування та генерація паралельної програми чисельного моделювання погоди // Проблемы програмування.- 2014, №2-3.- С. 72-81.
 20. Кравець П.І., Шимкович В.М., Зубенко Г.А. Моделі штучних нейронних мереж при їх апаратно-програмній реалізації на FPGA / Сборник трудов XIV международной научной конференции им. Т.А.Таран "Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2014", Киев, 14-16 мая 2014 г.

21. Кравець П.І., Шимкович В.М., Омельченко П. Нейромереві компоненти систем керування динамічними об'єктами з їх апаратно-програмною реалізацією на FPGA Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка: Зб. наук. пр. – К.: Век+, – 2013. – № 59. – с. 78-85
22. Жеребко В.А. Програмна модель генетичного оптимізатора ваг штучної нейронної мережі в LabVIEW // Проблеми програмування, № 3, Київ: Інститут кібернетики Глушкова, 2013. – С. 100-108. ISSN 1727-4907.
23. В.Г. Акуловский, А.Е. Дорошенко, Преобразование алгоритмов, записанных в виде композиционных схем // Кибернетика и системный анализ.-2014,№1.- С.51-59. --V. G. Akulovskiy, A. E. Doroshenko, Transformation of Algorithms Written in the Form of Composition Schemes. Cybernetics and Systems Analysis January 2014, Volume 50, Issue 1, pp 134-140
24. Иваненко П.А., Дорошенко А.Е. Метод автоматической генерации автотьюнеров для паралельных программ // Кибернетика и системный анализ.-2014, №3.-С.161-173. -- P. A. Ivanenko, A. Yu. Doroshenko, Method of Automated Generation of Autotuners for Parallel Programs. Cybernetics and Systems Analysis May 2014, Volume 50, Issue 3, pp 465-475.
25. Тези доповіді XIX Всеукраїнської науково-практичної заочної конференції, м. Одеса, 25-26 квітня 2014 р.; Назва доповіді - Паралельна розподілена реалізація моделювання паралельних обчислень ; Автори - Дорошенко А.Ю., Гнинюк М.В., Іванів Р.Б. Мироненко І.О; Місце проведення - Одеса; Дата проведення: 26.04.2014
26. Тези доповіді XIX Всеукраїнської науково-практичної заочної конференції, м. Одеса, 25-26 квітня 2014 р.; Назва доповіді - Реалізація алгоритму метеорологічного прогнозування у вигляді веб-сервісу; Автори - Дорошенко А.Ю., Иваненко П.А. Вітряк С.А., Павлючин Т.О; Місце проведення - Одеса;
27. Тези доповіді XIX Всеукраїнської науково-практичної заочної конференції, м. Одеса, 25-26 квітня 2014р.; Назва доповіді - Спосіб управління манипулятором для робототехнічної системи телеприсутствия; Автори - Новак А.С. , Дорошенко А.Е. ; Місце проведення - Одеса;
28. Тези доповіді 9-а Міжнародна науково-практична конференція з програмування УкрПРОГ-2014; Назва доповіді - Согласованное описание алгоритмов в рамках алгебраического аппарата ; Автори - В.Г. Акуловский, А.Е. Дорошенко; Місце проведення - Київ; Дата проведення: 21.05.2014
29. Тези доповіді 9-а Міжнародна науково-практична конференція з програмування УкрПРОГ-2014; ; Назва доповіді - Формалізоване проектування та генерація паралельної програми чисельного моделювання погоди; Автори - А.Ю. Дорошенко, О.Г. Бекетов, В.А. Прусов, Ю.М. Тирчак, О.А.Яценко,; Місце проведення - Київ; Дата проведення: 21.05.2014
30. Тези доповіді XXI міжнародної конференції з автоматичного управління «Автоматика - 2014», НТУУ «КПІ», м. Київ, 23-27 вересня 2014.; Назва доповіді – Моделі та методи синтезу апаратно-програмних компонентів нейромеревих систем управління; Автори – Кравець П.І., Шимкович В.М.