

## ПРИМЕР ПАРАЛЛЕЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧЕ КОЛЛЕКТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРУППЫ РОБОТОВ

Абабий Виктор, Судачевски Виорика, Мунтяну Сильвия, Абабий Константин, Самоил Ион

Технический Университет Р. Молдова, Департамент Информатики и Системной Инженерии

### Аннотация

В данной работе представлен пример синхронизации и параллельного управления в задаче коллективного взаимодействия группы роботов. Алгоритм управления основан на параллельную обработку данных и генерации сигналов для воздействия на группу роботов. Для функционального моделирования системы управления используются сети Петри, модель которых в дальнейшем используется для синтеза самой системы параллельной обработки данных и управления.

### Abstract

In this paper, we present an example of synchronization and parallel control in the task of collective interaction of a group of robots. The control algorithm is based on parallel processing of data and generation of signals for impact on a group of robots. For the functional modeling of the control system, Petri nets are used, the model of which is subsequently used to synthesize the system of parallel data processing and control.

### Введение

Управление коллективными роботами, это явный пример разработки систем для обработки и анализа распределенных данных [1], так как эти вычислительные структуры должны обеспечивать такие важные характеристики, для систем управления, как: надежность, отказоустойчивость, гибкость, адаптивность, согласованность, сотрудничество и взаимодействие [2].

Поведение коллективных роботов было вдохновлено поведением живых существ, такие как насекомые, птицы и др. [3, 4], где каждое существо решает часть общей задачи.

Целью данных исследований является проектирование системы для параллельного управления коллективными роботами при выполнении конкурирующих операций.

### Выбор модели параллельной обработки данных для управления коллективными роботами

Для обеспечения желаемой производительности, при управлении коллективными роботами (КР), необходимо использование двух типов вычислительных архитектур (ВА), такие как: распределенные и параллельные.

Распределенные вычислительные архитектуры (РВА) [19] реализованы на базе вычислительных сетей, которые обеспечивают: высокую производительность при решении сложных задач; хранение и обработку больших объемов данных; расширяемость, отказоустойчивость и надежность системы в целом.

Параллельные вычислительные архитектуры (ПВА) [20] реализованы на базе многопроцессорных или микроконтроллерных систем с потоковой обработкой данных. Для выбора модели параллельной обработки данных были анализированы такие модели как: *SISD* (Single Instruction stream, Single Data stream), *MISD* (Multiple Instruction stream, Single Data stream), *SIMD* (Single Instruction stream, Multiple Data stream), и *MIMD* (Multiple Instruction stream, Multiple Data stream). В результате анализа была выбрана модель *MIMD*.

В качестве примера РВА и ПВА можно привести ВА много-агентных систем, которые описаны в работах [5-8]. В данных системах, как и при управлении КР, общая задача распределена на множество ВА, каждая из которых решает свою под-задачу.

## Моделирование параллельных процессов обработки данных для управления коллективными роботами

Эффективность управления КР определяется точностью синхронизации процессов обмена данными, их обработки и воздействия на исполнительные устройства. Наиболее эффективным методом выявления конфликтов при передаче и обработке данных является моделирование на базе сетей Петри [9, 21].

Сети Петри это математический аппарат для моделирования динамических дискретных систем. Сеть Петри  $PN=(P, T, F, M0)$  представляет собой двудольный ориентированный мультиграф, состоящий из вершин двух типов: позиций  $P=\{p1, p2, \dots, pn\}$  и переходов  $T=\{t1, t2, \dots, tm\}$ , соединённых между собой дугами  $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ . Вершины одного типа не могут быть соединены непосредственно. В позициях могут размещаться метки (маркеры)  $M$ , способные перемещаться по сети синхронизируемые событиями.  $M0$  – это исходное состояние сети Петри. Событием называют срабатывание перехода, при котором метки из входных позиций этого перехода перемещаются в выходные позиции. События происходят мгновенно, либо одновременно, при выполнении некоторых условий.

### Синтез структурной схемы

Структурная схема системы параллельной обработки данных для управления КР представлена на Рисунке 1, где:  $PC$  – ЭВМ с программным обеспечением: для моделирования на базе сетей Петри ( $VPNP$  [14]), для компиляции модели сети Петри в код конфигурации  $FPGA$  ( $HPNC$  [10-13, 22]), и для проектирования и конфигурации устройств  $FPGA$  ( $Quartus-II$  [15]);  $FPGA$  – блок параллельной обработки данных и генерации сигналов синхронизации;  $AD$  – распределенное вычислительное устройство на базе *Arduino UNO*;  $RM$  – роботы манипуляторы *Arduino Braccio Robotic Arm* [17], которые выполняют параллельные действия в области *Workspace*.

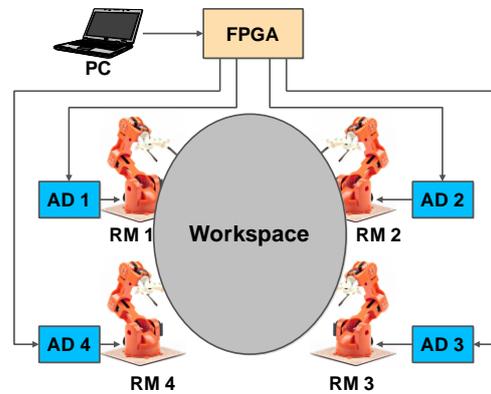


Рисунок 1 – Структурная схема системы параллельной обработки данных для управления коллективными роботами

### Функциональная модель системы управления

Функциональная модель системы параллельной обработки данных для управления коллективными роботами представлена на Рисунке 2, где:  $FPGA DE0$  – блок параллельной обработки данных на базе  $FPGA$  *Altera Cyclone IV* [16];  $Module 1...4$  – модули для управления роботом манипуляторов на базе *Arduino Braccio Robotic Arm*. Каждый модуль состоит из:  $AU$  - устройства *Arduino Uno* [18];  $DRV$  – драйвера для управления двигателями  $SV$ .

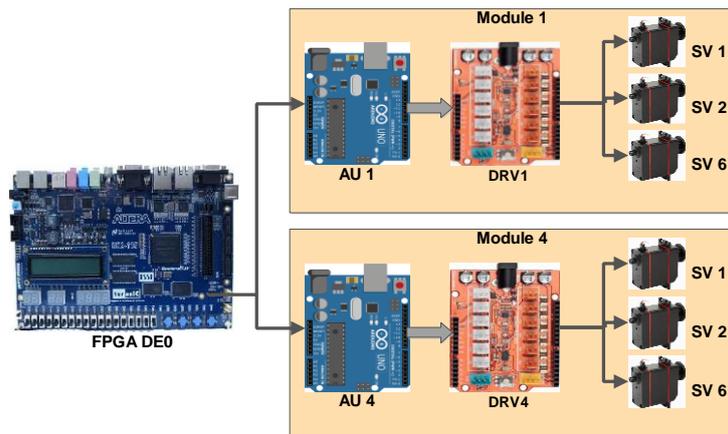


Рисунок 2 – Функциональная модель системы параллельной обработки данных для управления коллективными роботами

### Пример моделирования системы управления

Моделирование системы параллельной обработки данных для управления коллективными роботами выполнено на базе программного приложения *VPNP* [14]. Результат моделирования для взаимодействия 4 роботов манипуляторов (*BR1*, *BR2*, *BR3*, *BR4*) представлен на Рисунке 3.

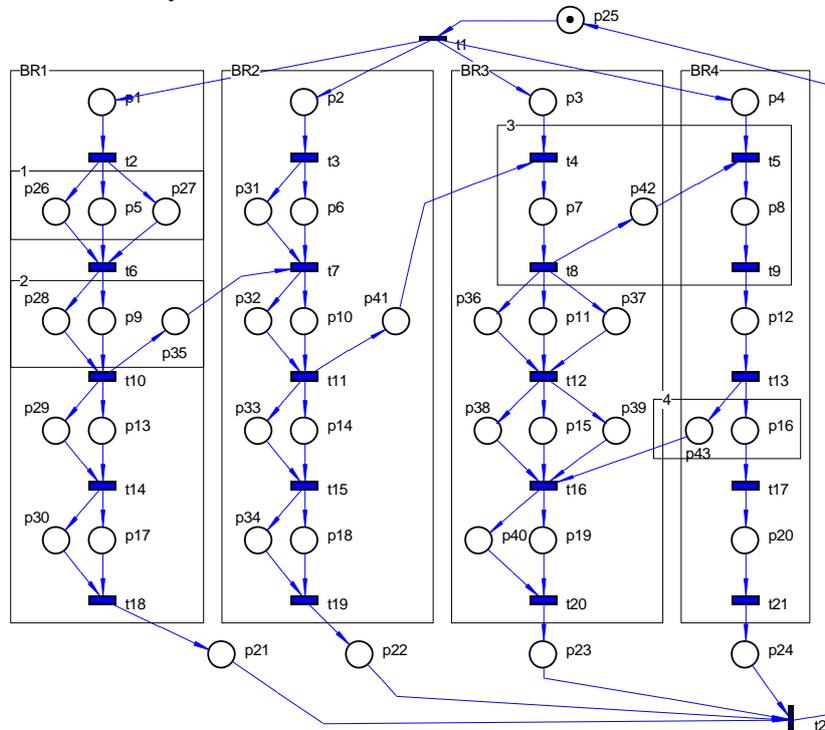


Рисунок 3 – Результат моделирования для взаимодействия 4 роботов манипуляторов

Позиция *P25* определяет готовность системы к началу нового цикла управления. Позиции *P1*, *P2*, *P3* и *P4* это параллельно выполняемые операции всеми манипуляторами. Блок операций **1** (*P6*, *P26*, *P27*) указывают на одновременное включение 3 двигателей для манипулятора *BR1*. Блок операций **2** содержит 2 позиции (*P9*, *P28*) для включения 2 двигателей для манипулятора *BR1* и позицию *P35* для синхронизации операции манипулятора *BR2*. Блок **3** и **4** указывают на взаимную синхронизацию между манипуляторами *BR3* и *BR4* (через позицию *P42*), и *BR4* и *BR3* (через позицию *P43*).

Синтез системы параллельной обработки данных для управления коллективными роботами основано на применении аппаратных сетей Петри [10-13, 22], которые реализованы на базе ИС *FPGA* [15] (Комплекс разработки *DE0* [16]).

#### Список использованных источников:

1. A. Bröring, et al., „New generation sensor web enablement,” *Sensors*, 11, 2011, pp. 2652-2699. ISSN: 1424-8220. [Available from: doi:10.3390/s110302652].
2. Gaston Lefranc, „Colony of Robots: New Challenge,” In: *Int. J. Of Computers, Communications & Control*, Vol. III(2008), Suppl. Issue: Proceedings of ICCCC-2008, pp.92-107, ISSN: 1841-9836, E-ISSN: 1841-9844.
3. C. Ampatzis, „On the Evolution of Autonomous Time-based Decision-making and Communication in Collective Robotics,” PhD thesis, IRIDIA, Université Libre de Bruxelles, Belgium, 2008.

4. G. Beni, „From swarm intelligence to swarm robotics,” In: Swarm Robotics, volume 3342 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 1–9, Springer, Berlin, Heidelberg, 2005.
5. Gh. Safonov, V. Ababii, V. Sudacevski, „Analysis of distributed computing architectures for synthesis of multi-agent systems,” In: European Applied Sciences Journal, № 9, 2016 (September), pp. 34-37, ISSN: 2195-2183.
6. V. Ababii, V. Sudacevski, Gh. Safonov, „Designing a Collective Agent for synthesis of Adaptive Decision-Making Systems,” In: Sciences of Europe (Prah, Czech Republic), Vol 1, No 17(17), 2017, pp. 70-75, ISSN: 3162-2364.
7. V. Ababii, V. Sudacevski, D. Bordian, A. Raschipkin, „Sistem pentru comanda unei colonii de roboți mobili în baza modelelor de rețele neuronale,” In: Proceedings of the 9th International Conference on Microelectronics and Computer Science & The 6th Conference of Physicists of Moldova, Chișinău, Moldova, October 19-21, 2017. pp. 288-290, ISBN: 978-9975-4264-8-0.
8. В. Абабий, В. Судачевски, М. Подубный, Г. Сафонов, Е. Негарэ, „Система коллективного принятия решений на базе пространственно-распределенных ВУ,” In: The Tenth International Scientific-Practical Conference Internet-Education-Science IES-2016, Ukraine, Vinnytsia, VNTU, 11-14 October, 2016, pp. 20-22, ISBN: 978-9666-641-646-2.
9. J.L. Peterson, “Petri Net Theory and the Modeling of Systems,” Prentice-Hall, 1981.
10. V. Sudacevski, V. Ababii, „Modelling and Synthesis of Real-Time Control Systems Based on Hardware Timed Petri Nets,” In: Buletinul Institutului Politehnic Din Iași, Publicat de Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, Secția „Electrotehnică. Energetică. Electronică”, Tomul LIX (LXIII), Fasc. 4, 2013, pp. 161-172.
11. V. Sudacevski, V. Ababii, E. Gutuleac, M. Podubnii, „Sinteza procesoarelor specializate în baza rețelelor Petri hardware funcțional interpretate,” In: Meridian Ingineresc Nr. 3, 2015. pp.117-123, ISSN: 1683-853X.
12. V. Ababii, V. Sudacevski, M. Podubnii, I. Cojuhari, “Real-time reconfiguration of distributed control system based on hard Petri nets,” In: International Conference on DEVELOPMENT AND APPLICATION SYSTEMS 12th Edition, May 15-17, 2014, Suceava, ROMANIA, pp. 21-24, ISSN: 1844-5039.
13. V. Sudacevski, V. Ababii, M. Podubnii, “A Synthesis Method for Reconfigurable Embedded Processors,” In: The 13th International Conference on DEVELOPMENT AND APPLICATION SYSTEMS, Suceava, Romania, May 19-21, 2016, IEEE Catalog Number: CFP1665Y-DVD, pp. 184-188, ISBN: 978-1-5090-1992-2.
14. E. Guțuleac, C. Boșneaga, A. Railean, “VPNP-Software tool for modeling and performance evaluation using generalized stochastic Petri nets,” In: Proceedings of the 6-th International Conference on DAS-2002, 23-25 May 2002, Suceava, România, p. 243-248, ISBN 973-98670-9-X.
15. <https://www.altera.com> [Электронный ресурс. Доступ: 25.03.2018].
16. <http://www.terasic.com.tw> [Электронный ресурс. Доступ: 25.03.2018].
17. <https://www.robotshop.com/en/arduino-braccio-robotic-arm.html> [Электронный ресурс. Доступ: 25.03.2018].
18. <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3> [Электронный ресурс. Доступ: 25.03.2018].
19. G. Moldovan, I. Dzițac, „Sisteme distribuite – Modele matematice,” Oradea, Editura Universității Agora, 170p., 2006, ISBN: 973-88205-0-2.
20. Blaise Barney, „Introduction to Parallel Computing, [Электронный ресурс. Доступ: 25.03.2018; [https://computing.llnl.gov/tutorials/parallel\\_comp/](https://computing.llnl.gov/tutorials/parallel_comp/)].
21. O. Păstrăvanu, M. Matcovschi, C. Mahulea, „Aplicații ale rețelelor Petri în studierea sistemelor cu evenimente discrete,” Iași, Editura Gheorghe Asachi, 2002, 256p., ISBN: 973-8292-86-7.
22. V. Sudacevski, Sinteza structurilor de procesare concurentă a datelor. Teza de doctor în tehnică (In Eng.: Synthesis of structures for parallel data processing. Doctoral thesis). UTM, Chișinău 2009, 167 p.