

## Средства процесс-ориентированного программирования микроконтроллеров во встраиваемых системах

### Process-oriented microcontroller programming for embedded systems

Авторы: Розов А.С., Зюбин В.Е.

Authors: Rozov A.S., Zyubin V.E.

В рамках процесс-ориентированной методологии создания ПО реактивных систем:

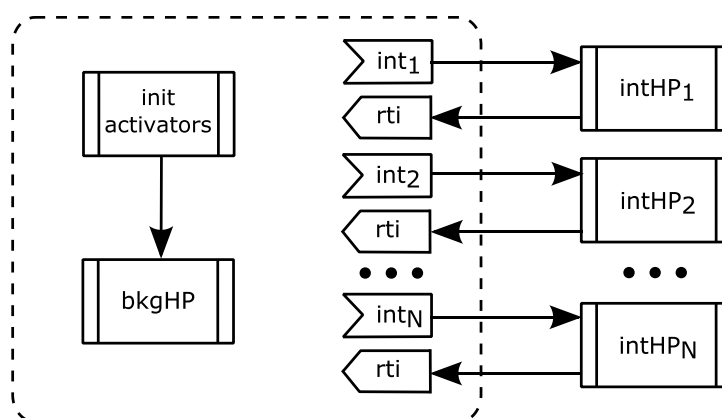
- разработана модель абстрактного управляющего алгоритма встраиваемой системы в виде набора взаимодействующих гиперпроцессов с индивидуальными активаторами;

- предложен вычислительный метод для определения реакции микроконтроллерной встраиваемой системы на внешнее событие, реализующий разработанную модель. Метод предполагает в качестве источников активации использовать прерывания как от внешних сигналов, так и от периферийных устройств микроконтроллера;

- для спецификации конкретного алгоритма разработан язык программирования IndustrialC, расширяющий языки Си и Reflex конструкциями для работы с аппаратными прерываниями.

- комплекс программ, реализующий предложенные модель и метод и ориентированный на микроконтроллерные платформы серии AVR, реализован в виде интегрированной среды разработки на базе пакетов Notepad++, Flex/Bison, GCC.

Полученные средства прошли успешную технологическую апробацию на проектах по созданию гаммы микроконтроллерных встраиваемых систем: веб-метеосервер, автоматизированная установка термовакуумного напыления, станция термотренировки образцов SorbiPrep.



Вычислительный метод для определения реакции микроконтроллерной встраиваемой системы на внешнее событие на основе фонового гиперпроцесса (bkgHP) и гиперпроцессов прерываний (intHP<sub>i</sub>).

Гиперпроцессы прерываний, которые технически представляют собой процедуры обработки прерываний, активируются по аппаратным прерываниям (int<sub>i</sub>). После завершения цикла активации управление возвращается фоновому гиперпроцессу через механизм ReTurn from Interrupt (rti)

Method for computing control reactions in a microcontroller-based embedded system. The figure shows the background hyperprocess (bkgHP) as well as a set of interrupt-activated hyperprocesses (intHP<sub>i</sub>) that are implemented within interrupt service routines for the respective hardware interrupts (int<sub>i</sub>).

Here (rti) depicts the operation that returns control to the background hyperprocess after an interrupt-driven hyperprocess activation

The following research results have been achieved while investigating applications of the process-oriented methodology to reactive systems software design:

- an abstract model of control software for embedded systems, presented as a set of interacting hyperprocesses with multiple activation sources, was developed.

- a computational method for determining the response of an embedded system to an external event was proposed. The method utilizes the abstract control software model and assumes the use of hardware interrupts as activation sources for hyperprocesses.

– a specialized programming language (IndustrialC) intended for developing microcontroller-based embedded systems was developed. The language is based on Reflex, with its syntax shifted towards C and a number of specialized constructs added for explicit support of hardware interrupts.

– a set of programming tools was implemented for the aforementioned method. The tools are primarily targeted for the AVR microcontroller series and form an integrated development environment (IDE) for IndustrialC. The tools utilize Notepad++ extension capabilities along with Flex/Bison lexer/parser generator framework for language translation.

The IndustrialC programming language and its IDE were vigorously tested over a range of embedded projects: standalone weather server, an automation system for thin-film vacuum vapor deposition plant, and SorpiPrep sample preparation unit.

### **Публикации:**

1. Розов А.С., Зюбин В.Е. Адаптация процесс-ориентированного подхода к разработке встраиваемых микроконтроллерных систем // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 2. – С. 114–122. – DOI 10.15372/AUT20190212.
2. Транслятор языка "IndustrialC" версии 1.0. Розов А.С. // Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2018617246, зарег. 21.06.2018.
3. Розов А.С., Зюбин В.Е., Нефедов Д.В. Программирование встраиваемых микроконтроллерных систем на основе гиперпроцессов // Вестник НГУ. Серия: информационные технологии. – 2017. – Т. 15, № 4. – С. 64–73.
4. Розов А.С., Лях Т.В., Краснов Д.В., Санжиев Е.С. Практическая апробация языка IndustrialC на примере автоматизации установки термовакуумного напыления // Вестник. НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2017. – Т. 15, № 3. – С. 90–99.
5. Розов А.С., Зюбин В.Е. Расширенная модель гиперпроцесса для программирования микроконтроллеров // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2016. – № 9. – С. 34–38. – DOI 10.25205/1818-7900-2017-15-3-90-99.