



METHODS OF MEASUREMENT USING GREENCO CONTROLLER (GCC)

- The study of laboratory complex "MCU-based GreenCo Controller"
- Energy research of Fast Fourier Transform algorithm

ENERGY EFFICIENCY RESEARCH OF ALGORITHMS AND SOFTWARE USING GCC

- Power consumption research of different complexity algorithms
- Energy efficiency research for SW developed using different languages

ENERGY OPTIMIZATION OF SW USING GCC

- Impact analysis of the optimization level for compiling programs on energy consumption
- Research of techniques to optimize SW energy efficiency



University of Ioannina



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММ. АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GREENCO CONTROLLER

Тренинг-курс

ENERGY EFFICIENCY OF ALGORITHMS AND PROGRAMS. ANALYSIS AND OPTIMIZATION USING GREENCO CONTROLLER



2016



**Министерство образования и науки Украины
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»**

**В.В. Скляр, О.Н. Одарущенко, Е.Н. Бульба, Р.А. Горбенко,
А.Ю. Кривцов, А.О. Ивасюк, В.С. Харченко**

**Энергоэффективность алгоритмов и программ.
Анализ и оптимизация с использованием
GreenCo Controller**

Тренинг

Под редакцией В.С. Харченко, В.В. Скляра, О.Н. Одарущенко

**Energy Efficiency of Algorithms and Programs.
Analysis and Optimization using GreenCo Controller**

Training

**Проект
530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR
*Green Computing & Communication***

2016

УДК 004.9+681.5
ББК 164.9ю31-5
С78

Викладено матеріали тренінг-курсу LLL1 “Methods and Tools for Green Algorithms and Software”, який розроблено в рамках проекту TEMPUS «Green Computing & Communication» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR).

Курс базується на методичних та інструментальних засобах, призначених для оволодіння практичними навичками розроблення енергоефективного програмного забезпечення, вимірювання та оптимізації енергоспоживання для алгоритмів і програм, які реалізуються у вбудованих системах на мікроконтролерах. Надано опис лабораторних робіт і тренінгів, які виконуються з використанням програмно-апаратного комплексу GreenCo Controller.

Для інженерів, які займаються розробленням та впровадженням енергоефективних мікропроцесорних систем, а також магістрів і аспірантів університетів, які навчаються за напрямками комп'ютерних наук, комп'ютерної та програмної інженерії, при вивченні методів і засобів зеленої ІТ-інженерії.

Рецензенти: **Мохор Владимир Владимирович**, директор Інститута проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Е. Пухова Національної Академії наук України, доктор технічних наук, професор;
Levashenko Vitaly, Dr, Professor, Faculty of Management Science and Informatics University of Zilina, Slovakia.

В.В. Скляр, О.Н. Одарушенко, Е.Н. Бульба, Р.А. Горбенко, А.Ю. Кривцов, А.О. Івасюк, В.С. Харченко

Энергоэффективность алгоритмов и программ. Анализ и оптимизация с использованием GreenCo Controller. Тренинг. / Под ред. Харченко В.С., В.В. Скляра, О.Н. Одарушенко. – Харьков: Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ». – 2016. – 95 с.

ISBN 978-617-7361-09-0.

Изложены материалы тренинг-курса LLL1 “Methods and Tools for Green Algorithms and Software”, разработанного в рамках проекта TEMPUS “Green Computing & Communication” (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR).

Курс базируется на методических и инструментальных средствах для овладения практическими навыками разработки энергоэффективного программного обеспечения, измерения и оптимизации энергопотребления для алгоритмов и программ, которые реализуются во встроённых системах с использованием микроконтроллеров. В пособии приведено описание лабораторных работ и тренингов, которые выполняются с использованием программно-аппаратного комплекса GreenCo Controller.

Для инженеров, занимающихся разработкой энергоэффективных микропроцессорных систем, магистров и аспирантов университетов, которые учатся по направлениям компьютерных наук, компьютерной и программной инженерии, при изучении методов и средств зеленой ИТ-инженерии. Библиографический список – 56 наименований, рисунков – 23, таблиц – 7.

Утверждено на заседании Ученого совета Национального аэрокосмического университета имени Н.Е. Жуковского «ХАИ» (протокол № 1 от 2.09.2015).

УДК 004.9+681.5
ББК 164.9ю31-5

© В.В. Скляр, О.Н. Одарушенко, Е.Н. Бульба, Р.А. Горбенко, А.Ю. Кривцов, А.О. Івасюк, В.С. Харченко

© Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2016

ISBN 978-617-7361-09-0

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

МК - микроконтроллер

МП - микропроцессор

ЭПО - энергосберегающее программное обеспечение

ДПФ - дискретное преобразование Фурье

БПФ - быстрое преобразование Фурье

ЦПУ - центральное процессорное устройство

ПО – программное обеспечение

ОС – операционная система

MCU - Micro Controller Unit

HW - Hardware

ISP - In-System Programming

COM - Communication Port - serial port

RAM - Random Access Memory

MCU - Microcontroller Unit (микроконтроллер)

GUI - Graphical User Interface (графический пользовательский интерфейс).

ВВЕДЕНИЕ

Мотивация. Важной составляющей зеленой ИТ-инженерии являются технологии создания энергоэффективного программного обеспечения (ПО), т.е. ПО, при котором минимизируется энергопотребление встроенных систем, где оно используется. Действенность методов и средств повышения энергоэффективности алгоритмов и программ, снижения энергопотребления для встроенных систем, являются технологии, обеспечивающие решение трех взаимосвязанных задач:

- измерение и анализ энергопотребления встроенными решениями в зависимости от вариантов реализуемых алгоритмов и программных средств;
- разработка программного обеспечения с учетом требований к энергохарактеристикам систем, протрассированных для ПО;
- оптимизация энергохарактеристик ПО для существующих и модернизируемых систем.

При этом важно овладеть средствами, способными измерять той части энергопотребления, которое зависит от прикладного ПО, а затем убедиться в его возможном уменьшении после энергооптимизации и, естественно, научиться выполнить ее.

Цель и структура тренинг-курса. В пособии изложены материалы тренинг-курса LLL1 "Methods and Tools for Green Algorithms and Software", разработанного для магистрантов, аспирантов и инженеров в рамках проекта TEMPUS «Green Computing & Communication» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR).

В основу практикума положено изучение техник экспериментального измерения характеристик, разработки и оптимизации так называемых "зеленых" алгоритмов и программ, целью которых является создание энергоэффективного ПО. Тренинг-курс содержит три модуля, которым соответствуют разделы данного пособия, включающего набор лабораторных работ-практикумов.

В первый раздел включены лабораторные работы, посвященные изучению программно-аппаратных компонент учебно-лабораторного исследовательского комплекса "GreenCo Controller" и методов проведения исследований параметров энергопотребления алгоритмов и программ с его помощью.

Второй раздел посвящен исследованию характеристик алгоритмов различной сложности и анализу энергопотребления

программ, которые разработаны на языках программирования различного уровня на основе этих алгоритмов.

Третий раздел объединяет лабораторные работы, посвященные анализу влияния уровней оптимизации при компиляции на энергопотребление программ и исследованию техник оптимизации.

Авторский коллектив. Пособие подготовлено техническим директором Научно-производственного предприятия (НПП) "Радий", профессором кафедры компьютерных систем и сетей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского "ХАИ" д.т.н., профессором Скляром В.В. (раздел 1), заведующим этой кафедры д.т.н., профессором Харченко В.С. (введение, раздел 3), ведущим научным сотрудником НПП "Радий" к.т.н., доцентом Одарущенко О.Н. (введение и раздел 1), заместителем технического директора НПП "Радий" к.т.н. Ивасюком А.О. (раздел 1), старшим инженером-программистом НПП "Радий" Бульбой Е.Н. (раздел 1), инженером-программистом НПП "Радий" Горбенко Р.А. (раздел 1), ассистентом кафедры компьютерных систем и сетей ХАИ Кривцовым А.Ю. (разделы 2 и 3). Разработка программы курса выполнено всеми авторами. Общее редактирование проведено В. С. Харченко, В.В. Скляром и О.Н. Одарущенко.

Учебно-лабораторный исследовательский комплекс "GreenSo Controller" и его действующий образец спроектирован и изготовлен Ивасюком А.О., Бульбой Е.Н., Горбенко Р.А., Барвинко А.П.

Благодарности. Авторы выражают благодарность рецензентам, коллегам по проекту, сотрудникам кафедр за ценную информацию, методическую помощь и конструктивные предложения, которые высказывались в процессе обсуждения требований к "GreenSo Controller", программы курса, материалов пособия.

АНОТАЦІЯ ТА ЗМІСТ

УДК004.9+681.5

В.В. Скляр, О.М. Одарущенко, Е.М. Бульба, Р.А. Горбенко, А.Ю. Кривцов, О.О. Івасюк, В.С. Харченко **Енергоефективність алгоритмів та програм. Аналіз та оптимізація з використанням GreenCo Controller. Тренінг.** / За ред. Харченка В.С., Скляра В.В., Одарущенко О.М. – Харків: Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ». – 2016. – 95 с.

ISBN 978-617-7361-09-0.

Викладено матеріали тренінг-курсу LLL1 "Methods and Tools for Green Algorithms and Software", який розроблено в рамках проекту TEMPUS «Green Computing & Communication» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR).

Курс базується на методичних та інструментальних засобах, призначених для оволодіння практичними навичками розроблення енергоефективного програмного забезпечення, вимірювання та оптимізації енергоспоживання для алгоритмів і програм, які реалізуються у вбудованих системах на мікроконтролерах. Надано опис лабораторних робіт і тренінгів, які виконуються з використанням програмно-апаратного комплексу GreenCo Controller.

Для інженерів, які займаються розробленням та впровадженням енергоефективних мікропроцесорних систем, а також магістрів і аспірантів університетів, які навчаються за напрямками комп'ютерних наук, комп'ютерної та програмної інженерії, при вивченні методів і засобів зеленої ІТ-інженерії.

Бібл. – 56 найменувань, рисунків – 23, таблиць – 7.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	3
ВСТУП.....	4
1. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ ВИКОРИСТАННЯМ GREENCO CONTROLLER	3 5
1.1 Тренінг-лабораторна робота №1. Вивчення лабораторного комплексу GreenCo Controller	5
1.2 Тренінг-лабораторна №2. Дослідження енергоспоживання для алгоритму швидкого перетворення Фур'є	30
2. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ АЛГОРИТМІВ І ПРОГРАМ З ВИКОРИСТАННЯМ GREENCO CONTROLLER....	35
2.1 Тренінг-лабораторна робота №3. Дослідження енергоспоживання при реалізації алгоритмів різної складності....	35
2.2 Тренінг-лабораторна робота №4. Аналіз енергоспоживання при реалізації програм на різних мовах програмування	52
3. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГООПТИМІЗАЦІЇ ВИКОРИСТАННЯМ GREENCO CONTROLLER.....	3 57
3.1 Тренінг-лабораторна робота №5. Аналіз впливу рівнів оптимізації при компіляції програм на енергоспоживання.....	57
3.2 Тренінг-лабораторна робота №6. Дослідження методів оптимізації енергоспоживання програм.....	67
ЛІТЕРАТУРА.....	83
АННОТАЦІЯ ТА ЗМІСТ	84
ДОДАТОК А. НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА.....	88

ABSTRACT AND CONTENT

UDC004.9+681.5

Sklyar V., Odarushchenko O., Bulba Y., Gorbenko R., Krivtsov A., Ivasiuk O., Kharchenko V. **Energy Efficiency of Algorithms and Programs. Analysis and Optimisation Using GreenCo Controller. Training.** / Ed. Kharchenko V., Sklyar V., Odarushchenko O. – Kharkiv: National Aerospace University KhAI. – 2016. – 95p.

ISBN 978-617-7361-09-0

Practical materials of training course LLL1 "Energy Efficiency of Algorithms and Programs" for under graduates, post graduate students and engineers in frameworks of the project TEMPUS «Green Computing & Communication» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR) are described.

The training course is based on methodical and instrumental tools to study techniques and to get skills of developing energy-efficient algorithms and software, measuring energy related metrics, power consumption optimization using different methods and means for embedded systems. The trainings and labs to study green software development and optimization using a special kit GreenCo Controller are described.

The book is supposed to be used by engineers developing energy efficient software and embedded systems, and MSc and PhD students of universities that study computer science, computer and program engineering when studying methods and tools of green IT. It could be very useful for lecturers and professors who conduct classes on corresponding courses.

Ref. – 56 items, figures – 23, tables – 7.

CONTENT

ABBREVIATION	3
INTRODUCTION	4
1. METHODS OF POWER CONSUMPTION MEASUREMENT FOR SOFTWARE AND EMBEDDED SYSTEMS USING GREENCO CONTROLLER.....	5
1.1. Training-lab №1. The study of laboratory complex GreenCo Controller.....	5
1.2 Training-lab №2. Energy research of fast Fourier transform algorithm.....	30
2. RESEARCH OF ALGORITHMS AND SOFTWARE ENERGY EFFICIENCY USING GREENCO CONTROLLER.....	35
2.1. Training-lab №3. Power consumption research on realization of different difficulty algorithms	35
2.2. Training-lab №4. Analysis of energy consumption of software developed using programming languages of different levels	52
3. ANALYSIS OF ENERGY OPTIMIZATION TECHNIQUES FOR SOFTWARE USING GREENCO CONTROLLER	57
3.1 Training-lab №5. Power consumption-oriented impact analysis of the optimization level for compiling programs	57
3.2 Training-lab №6. Research of techniques for energy optimization of software	67
REFERENCES	83
APPENDIX. DESCRIPTION OF THE MODULE	88

**ПРИЛОЖЕНИЕ. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА
DESCRIPTION OF THE MODULE**

TITLE OF THE MODULE	Code
Energy Efficiency of Algorithms and Programs	

Teacher(s)	Department
Coordinating: Dr. Odarushchenko Oleg Others: DrS, Prof. Sklyar Vladimir, DrS, Prof. Kharchenko Vyacheslav, Bulba Yevhen, Gorbenko Roman, Krivtsov Andrii, Dr Ivasiuk Oleksandr	Comper Systems and Networks Department of KhAI, RPC Radiy

Study cycle	Level of the module	Type of the module
Under graduates, Post graduate	A	Full-time tuition

Form of delivery	Duration	Language(s)
Full-time tuition	One semester	Russian

Prerequisites	
Prerequisites: Boolean algebra; statistics; discrete mathematics; software developments; computer systems and system analysis	Co-requisites (if necessary):

Credits of the course	Total student workload	Contact hours	Individual work hours
2.5	75	38	37

<p>Aim of the module (course unit): competences foreseen by the study programme</p>		
<p>Learning of software development methods with lower power consumption</p>		
<p>Learning outcomes of module (course unit)</p>	<p>Teaching/learning methods</p>	<p>Assessment methods</p>
<p>At the end of course, the successful student will be able:</p> <p>1. To perform measurements by use of GreenCo Controller. To assess energy metrics of algorithms (similar Fast Fourier Transform algorithms).</p>	<p>Interactive lectures, Learning in laboratories, Just-in-Time Teaching</p>	<p>Module Evaluation Questionnaire</p>
<p>2. To research energy efficiency of algorithms and programs</p>	<p>Interactive lectures, Learning in laboratories, Just-in-Time Teaching</p>	<p>Module Evaluation Questionnaire</p>
<p>3. To perform an impact analysis of the optimization level for compiling programs on energy consumption.</p> <p>4. To research and apply the techniques of energy optimization of programs</p>	<p>Interactive lectures, Learning in laboratories, Just-in-Time Teaching</p>	<p>Module Evaluation Questionnaire</p>

Themes	Contact work hours						Time and tasks for individual work		
	Lectures	Consultations	Seminars	Practical work	Laboratory work	Placements	Total contact work	Individual work	Tasks
1. The study of laboratory complex GreenCo Controller	2				2		4	4	
2. Energy research Fast Fourier Transform algorithm	2	2			2		6	5	
3. Energy research of algorithms of different complexity	2				4		6	5	
4. Analysis of energy consumption programs developed using programming languages of different levels	2	2			4		8	8	
5. Impact analysis of the optimization level when compiling programs on energy consumption	2	2			2		6	6	
6. Research of techniques to optimize energy programs	2	2			4		8	9	
Total:	12	8			18		38	37	

Приложение. Учебная программа

Assessment strategy	Weight in %	Deadlines	Assessment criteria
Lecture activity, including fulfilling special self-tasks	10	7,14	<p>85% – 100% Outstanding work, showing a full grasp of all the questions answered.</p> <p>70% – 84% Perfect or near perfect answers to a high proportion of the questions answered. There should be a thorough understanding and appreciation of the material.</p> <p>60% – 69% A very good knowledge of much of the important material, possibly excellent in places, but with a limited account of some significant topics.</p> <p>50% – 59% There should be a good grasp of several important topics, but with only a limited understanding or ability in places. There may be significant omissions.</p> <p>45% – 49% Students will show some relevant knowledge of some of the issues involved, but with a good grasp of only a minority of the material. Some topics may be answered well, but others will be either omitted or incorrect.</p> <p>40% – 44% There should be some work of some merit. There may be a few topics answered partly or there may be scattered or perfunctory knowledge across a larger range.</p> <p>20% – 39% There should be substantial deficiencies, or no answers, across large parts of the topics set, but with a little relevant and correct material in places.</p> <p>0% – 19% Very little or nothing that is correct and relevant.</p>

Learning in laboratories	30	7,14	<p>85% – 100% An outstanding piece of work, superbly organised and presented, excellent achievement of the objectives, evidence of original thought.</p> <p>70% – 84% Students will show a thorough understanding and appreciation of the material, producing work without significant error or omission. Objectives achieved well. Excellent organisation and presentation.</p> <p>60% – 69% Students will show a clear understanding of the issues involved and the work should be well written and well organised. Good work towards the objectives.</p> <p>The exercise should show evidence that the student has thought about the topic and has not simply reproduced standard solutions or arguments.</p> <p>50% – 59% The work should show evidence that the student has a reasonable understanding of the basic material. There may be some signs of weakness, but overall the grasp of the topic should be sound. The presentation and organisation should be reasonably clear, and the objectives should at least be partially achieved.</p> <p>45% – 49% Students will show some appreciation of the issues involved. The exercise will indicate a basic understanding of the topic, but will not have gone beyond this, and there may well be signs of confusion about more complex material. There should be fair work towards the laboratory work objectives.</p>
--------------------------	----	------	--

Приложение. Учебная программа

			<p>40% – 44% There should be some work towards the laboratory work objectives, but significant issues are likely to be neglected, and there will be little or no appreciation of the complexity of the problem.</p> <p>20% – 39% The work may contain some correct and relevant material, but most issues are neglected or are covered incorrectly. There should be some signs of appreciation of the laboratory work requirements.</p> <p>0% – 19% Very little or nothing that is correct and relevant and no real appreciation of the laboratory work requirements.</p>
Module Evaluation Quest	60	8,16	The score corresponds to the percentage of correct answers to the test questions

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
1. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GREENCO CONTROLLER	6
1.1 Тренинг-лабораторная работа №1. Изучение лабораторного комплекса GreenCo Controller	6
1.2 Тренинг-лабораторная №2. Измерение энергопотребления для алгоритма быстрого преобразования Фурье	31
2. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GREENCO CONTROLLER	36
2.1 Тренинг-лабораторная работа №3. Исследование энергопотребления при реализации алгоритмов различной сложности	36
2.2 Тренинг-лабораторная работа №4. Анализ энергопотребления при реализации программ на различных языках программирования	49
3. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГООПТИМИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GREENCO CONTROLLER	58
3.1 Тренинг-лабораторная работа №5. Анализ влияния уровней оптимизации при компиляции программ на энергопотребление ..	58
3.2 Тренинг-лабораторная работа №6. Исследование методов оптимизации энергопотребления программ	68
ЛИТЕРАТУРА	79
АНОТАЦІЯ ТА ЗМІСТ	85
ABSTRACT AND CONTENT	87
ПРИЛОЖЕНИЕ. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА	89

Скляр Володимир Володимирович
Одарущенко Олег Миколайович
Бульба Євген Миколайович
Горбенко Роман Анатолійович
Кривцов Андрій Юрійович
Івасюк Олександр Олегович
Харченко Вячеслав Сергійович

Енергоефективність алгоритмів та програм. Аналіз та оптимізація з використанням GreenCo Controller

Тренінг.
(російською мовою)

Редактори: Харченко В.С., Скляр В.В., Одарущенко О.М.

Комп'ютерна верстка
Харченко Л.Д.

Зв. план, 2014
Підписаний до друку 11.01.2016
Формат 60x84 1/16. Папір офс. №2. Офс. друк.
Умов. друк. арк. 5,58. Уч.-вид. л. 6,00.
Наклад 200 прим. Замовлення 1. Ціна вільна

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17 <http://www.khai.edu>

Видавець: ФОП Голембовська О.О.
03049, Київ, Повітрофлотський пр-кт, б. 3, к. 32.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи в державний реєстр видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК №5120 від 08.06.2016

Віддруковано ТОВ «Юстон ЛТД»
01034, м. Київ, вул. О. Гончара, 36-а
Тел. +38 044 360-2266, www.yuston.com.ua