

## **Описание курса «Введение во встраиваемые системы. Часть 2. Программирование встраиваемых систем на основе Linux»**

### **Целевая аудитория**

Курс «Введение во встраиваемые системы. Часть 2. Программирование встраиваемых систем на основе Linux» предназначен для специалистов предприятий, занимающихся разработкой и тестированием программного обеспечения, студентов, магистрантов, аспирантов направлений 230100 «Информатика и вычислительная техника», 010500 «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем», 231000 «Программная инженерия», студентов специальности 090301 «Компьютерная безопасность», а также всех, кто интересуется современными компьютерными технологиями.

### **Предварительная подготовка**

Данный курс требует прохождения курса «Использование Linux при программировании» или курса «Введение во встраиваемые системы. Часть 1. Использование Linux и микропроцессорные системы». Также для прохождения курса требуется знание основ программирования на языке C.

### **Сертификаты**

После прохождения курса, слушатель может сдать сертификационный экзамен и получить сертификат D-Link. Экзамен состоит из теста на портале дистанционного обучения D-Link.

### **Описание курса**

Длительность курса – 72 академических часа. Курс включает лекционную и практическую части.

Целью курса является приобретение знаний и навыков в области проектирования программной составляющей встраиваемых систем на основе Linux. Курс может использоваться как независимый или часть большого курса в средних специальных, профессиональных и высших образовательных учреждениях.

После прохождения курса слушатели смогут:

- получить общее представление о встраиваемых системах на основе Linux и областях их применения;
- получить знания об организации аппаратного и программного обеспечения встраиваемых систем на основе Linux;
- получить знания об основных типах лицензий на свободное программное обеспечение, используемое во встраиваемых системах на основе Linux;
- выполнять кросс-компиляцию программ под заданную архитектуру встраиваемых систем;
- выполнять сборку тулчейна с помощью утилиты Crosstool-ng;

- получить знания об устройстве и применении основных файловых систем для флеш-носителей данных, используемых во встраиваемых системах;
- выполнять конфигурацию, сборку и установку ядра Linux в соответствии с требованиями определенной встраиваемой системы;
- выполнять конфигурацию и сборку загрузчика U-Boot в соответствии с требованиями определенной встраиваемой системы;
- выполнять конфигурацию, сборку и установку программы BusyBox и использовать ее в качестве командного интерфейса встраиваемой системы;
- выполнять разработку собственных апплетов программы BusyBox;
- использовать систему сборки корневой файловой системы Buildroot для получения образа программного обеспечения, готового к загрузке во встраиваемую систему;
- выполнять настройку системы Buildroot под требования своего проекта;
- выполнять разработку собственных пакетов для системы сборки корневой файловой системы Buildroot.

## Оборудование

Для проведения лабораторных работ по курсу требуется следующий комплект оборудования:

- для каждого слушателя 1 компьютер ОС Linux. Допускается работать на компьютере с ОС Windows и Linux на виртуальной машине;
- для каждого слушателя учебный лабораторный стенд DTK-1 – 1 шт. Допускается использовать не весь стенд DTK-1, а только его отдельные элементы: микрокомпьютер Orange Pi Zero, консольный кабель USB-TTL, блок питания 5В (выходной ток не ниже 2,4А), карта памяти MicroSD (не менее 8 Гб).

## Содержание курса

### 1. Встраиваемые системы на основе Linux

- 1.1. Понятие встраиваемой системы. Примеры встраиваемых систем
- 1.2. Встраиваемые системы на основе Linux. Достоинства встраиваемых систем на основе Linux
- 1.3. Свободное программное обеспечение. Основные типы свободных лицензий
- 1.4. Примеры встраиваемых систем на основе Linux
- 1.5. Основные программные компоненты встраиваемой системы на основе Linux
- 1.6. Основные требования к аппаратной составляющей встраиваемых систем на основе Linux
- 1.7. Основные архитектуры микропроцессоров, используемые во встраиваемых системах

## **2. Организация хранения данных во встраиваемой системе. Файловые системы для флеш-устройств**

- 2.1. Корневая файловая система. Расположение корневой файловой системы
- 2.2. Организация хранения данных во встраиваемой системе
- 2.3. Устройства хранения данных на основе флеш-памяти. Файловые системы для флеш-устройств
- 2.4. Файловые системы в оперативной памяти tmpfs и initramfs
- 2.5. Файловая система Squashfs
- 2.6. Файловая система NFS

## **3. Тулчейн**

- 3.1. Понятие «тулчейн»
- 3.2. Составляющие тулчейна
- 3.3. Получение тулчейна
- 3.4. Системы автоматической сборки тулчейна. Система сборки тулчейна Crosstool-ng
- 3.5. Пример кросс-компиляции программ с использованием готового тулчейна

## **4. Загрузчики для встраиваемых систем. Загрузчик U-Boot**

- 4.1. Загрузчик. Функции загрузчика. Процесс загрузки во встраиваемой системе
- 4.2. Загрузчики для встраиваемых систем
- 4.3. Работа с загрузчиком U-Boot через командную строку
- 4.4. Работа с переменными окружения U-Boot
- 4.5. Основные команды U-Boot
- 4.6. Сценарии загрузки U-Boot
- 4.7. Сборка и установка загрузчика U-Boot

## **5. Ядро Linux. Компиляция ядра Linux**

- 5.1. Общие сведения о ядре Linux
- 5.2. Версии ядра Linux
- 5.3. Исходный код ядра Linux. Получение исходного кода ядра
- 5.4. Обзор конфигурации ядра Linux
- 5.5. Компиляция ядра. Файлы, создаваемые при компиляции ядра Linux
- 5.6. Установка ядра Linux и модулей ядра
- 5.7. Кросс-компиляция ядра Linux

## **6. Общая архитектура ядра Linux**

- 6.1. Общая архитектура ядра Linux
- 6.2. Пространство ядра и пространство пользователя. Системные вызовы. Интерфейс системных вызовов
- 6.3. Планировщик процессов
- 6.4. Управление памятью
- 6.5. Работа с устройствами хранения данных
- 6.6. Сетевой стек
- 6.7. Дерево устройств
- 6.8. Командная строка ядра Linux

## **7. Реализация пространства пользователя во встраиваемой системе. Программа BusyBox**

- 7.1. Пространство пользователя во встраиваемой системе
- 7.2. Общие сведения о программе BusyBox
- 7.3. Основные апплеты программы BusyBox
- 7.4. Инициализация пространства пользователя с помощью BusyBox
- 7.5. Конфигурация и компиляция программы BusyBox
- 7.6. Установка и использование программы BusyBox
- 7.7. Разработка апплетов для программы BusyBox

## **8. Система сборки корневой файловой системы Buildroot**

- 8.1. Понятие системы сборки корневой файловой системы
- 8.2. Распространенные системы сборки корневой файловой системы: Buildroot, OpenWRT, OpenEmbedded, Yocto Project
- 8.3. Общие сведения о системе сборки корневой файловой системы Buildroot
- 8.4. Требования к системе для работы Buildroot
- 8.5. Основные команды сборки и конфигурации Buildroot
- 8.6. Содержимое каталогов исходного кода Buildroot
- 8.7. Содержимое каталога с результатами сборки Buildroot
- 8.8. Понятие пакета в Buildroot
- 8.9. Основные пакеты в Buildroot
- 8.10. Разработка собственного пакета в Buildroot
- 8.11. Настройка Buildroot для собственного проекта

## **Лабораторные работы**

Лабораторная работа №1. **Исследование встраиваемой системы на примере микрокомпьютера Orange Pi Zero**

Лабораторная работа №2. **Сборка тулчейна для кросс-компиляции с помощью системы сборки Buildroot**

Лабораторная работа №3. **Кросс-компиляция программ с использованием готового тулчейна**

Лабораторная работа №4. **Изучение загрузчика U-Boot**

Лабораторная работа №5. **Компиляция ядра Linux**

Лабораторная работа №6. **Компиляция программы BusyBox**

Лабораторная работа №7. **Создание с нуля программной составляющей встраиваемой системы на основе ядра Linux и программы BusyBox**

Лабораторная работа №8. **Изучение системы сборки корневой файловой системы Buildroot**

Лабораторная работа №9. **Создание пакета для системы сборки корневой файловой системы Buildroot**