

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

«Утверждаю»

и.о. декана факультета ВМК МГУ
имени М.В. Ломоносова
академик



И.А. Соколов

«__» _____ 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Архитектура перспективных информационно-управляющих систем реального времени (АУСРВ)»

Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре

Направление подготовки – 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника»

Направленность (профиль) – «Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети» (05.13.15)

2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

1. НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Архитектура перспективных информационно-управляющих систем реального времени

2. УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

3. НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ, НАПРАВЛЕННОСТЬ (ПРОФИЛЬ) ПОДГОТОВКИ

Направление 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника». Направленность (профиль) «Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети» (05.13.15).

4. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина относится к специальным дисциплинам вариативной части образовательной программы и является обязательной для освоения в 3-м семестре обучения.

5. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения
Владением методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1)	З1 (ОПК-1) ЗНАТЬ: современные математические методы, применяющиеся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий У1 (ОПК-1) УМЕТЬ: применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики В1 (ОПК-1) ВЛАДЕТЬ: навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики
Владение культурой научного исследования, в том числе с использованием современных информационно-коммуникационных технологий(ОПК-2)	В1 (ОПК-2) ВЛАДЕТЬ: культурой научного исследования, в том числе с использованием современных информационно-коммуникационных технологий
Способность разрабатывать и реализовывать алгоритмы организации работы современных вычислительных комплексов и компьютерных сетей (ПК-2)	З1 (ПК-2) ЗНАТЬ: современные методы разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения У1(ПК-2) УМЕТЬ: применять современные методы разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения В1 (ПК-2) ВЛАДЕТЬ: навыками оптимального выбора современных методов разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения

<p>способность применять современные методы и технологии при проектировании информационно-управляющих систем реального времени и разрабатывать приложения, используя особенности архитектуры УС РВ (СПК-2)</p>	<p>31 (СПК-2)Знать: основные архитектурные решения, используемые при построении информационно-управляющих систем реального времени(ИУС РВ); математические модели планируемости вычислений в ИУС РВ; подходы к оценке наихудшего времени выполнения задач в ИУС РВ; базовые алгоритмические задачи построения модульных ИУС РВ, конфигурирования сетей передачи данных (СПД) в ИУС РВ, и алгоритмы их решения; фазы жизненного цикла (ЖЦ) ПО ИУС РВ и виды инструментальных средств поддержки ЖЦ, включая стендовые среды тестирования.</p> <p>У1 Уметь: оценивать динамическую планируемость наборов задач в ИУС РВ; решать базовые алгоритмические задачи планирования вычислений в модульных ИУС РВ, конфигурирования СПД в составе ИУС РВ; применять средства функционального тестирования ИУС РВ и анализировать результаты тестирования.</p> <p>В1. Владеть: навыками формальной проверки соблюдения директивных сроков выполнения вычислений в ИУС РВ, навыками проверки временных и функциональных характеристик функционирования ИУС РВ в стендовых средах тестирования.</p>
--	---

Оценочные средства для промежуточной аттестации приведены в Приложении.

6. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов.

54 часа составляет контактная работа с преподавателем – 36 часов занятий лекционного типа, 18 часов занятий семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.).

54 часа составляет самостоятельная работа учащегося.

7. ВХОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Учащиеся должны владеть знаниями по дискретной математике, архитектуре ЭВМ, компьютерным сетям, системам программирования в объеме, соответствующем основным образовательным программам бакалавриата по укрупненным группам направлений и специальностей 01.00.00 «Математика и механика», 02.00.00 «Компьютерные и информационные науки».

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе обучения используются мультимедийные средства представления лекционного материала.

9. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель учебного курса – ознакомить студентов с основными принципами построения информационно-управляющих систем реального времени (ИУС РВ), организацией вычислений в ИУС РВ, типовыми архитектурами вычислительных блоков и сетей передачи данных в ИУС РВ, базовыми алгоритмическими задачами, возникающими при планировании вычислений и информационного обмена в ИУС РВ, примерами алгоритмов решения этих задач. Отдельное внимание уделяется анализу временных характеристик функционирования ИУС РВ и обоснованию соблюдения директивных сроков при выполнении вычислений, а также вопросам тестирования ИУС РВ как аппаратно-программных систем.

Курс состоит из шести частей.

В первой части рассматриваются основные схемы динамического планирования вычислений в ИУС РВ (RM – частотно-монотонная, EDF – планирование по директивным срокам), а также статико-динамическая схема, характерная для систем с интегрированной модульной архитектурой (ИМА). Для схем RM и EDF вводятся математические модели, позволяющие проверять и обосновывать соблюдение директивных сроков. Рассматриваются вопросы планирования вычислений в условиях джиттера (флуктуации задержек) и перегрузки вычислительных мощностей. Описывается проблема инверсии приоритетов и пути ее решения. Для систем с архитектурой ИМА описываются особенности организации вычислений, задачи распределения вычислительной нагрузки и построения расписаний окон, алгоритмы решения этих задач.

Во второй части курса рассматриваются архитектурные решения, лежащие в основе вычислительных блоков ИУС РВ. Основное внимание уделяется процессорам и системным шинам в составе блоков, а также общей организации блоков. Приводятся примеры специализированных архитектур процессоров. Рассматриваются схемы оптимизации энергопотребления процессоров за счет регулирования тактовой частоты процессора при гарантии соблюдения директивных сроков. В качестве примеров системных шин вычислительных блоков рассматриваются шины VME и CAN. Описываются протоколы арбитража на этих шинах, подходы к оптимизации передачи данных по шинам. Приводятся примеры вычислительных блоков для систем с федеративной архитектурой, а также примеры стандартных вычислительных модулей, на основе которых построены системы с архитектурой ИМА.

Третья часть курса посвящена методам оценки и оптимизации наихудшего времени выполнения программ (worstcaseexecutiontime – WCET). Рассматривается процесс оценки WCET, состоящий из трех этапов: анализ потоков (оценка числа итераций циклов, выявление

недопустимых путей); низкоуровневый анализ, учитывающий влияние таких факторов, как работа конвейера и кэш-памяти; вычисление итоговой оценки. Также в данной части курса освещаются вопросы оптимизации WCET и повышения временной предсказуемости выполнения программ для ИУС РВ. Для систем мягкого реального времени рассматривается задача получения приближенной (небезопасной) оценки WCET и подход к ее решению с использованием эволюционных алгоритмов.

В четвертой части курса рассматриваются основные схемы построения сетей передачи данных в ИУС РВ, а именно магистральные каналы с централизованным управлением, кольца с арбитражем и сети на основе пакетных коммутаторов. Для каждой из перечисленных схем вводятся базовые алгоритмические задачи конфигурирования сетей для обеспечения передачи данных в реальном времени; приводятся примеры алгоритмов решения этих задач.

В пятой части рассматриваются подходы к тестированию ИУС РВ как аппаратно-программных систем, мониторингу и отладке функционирования ИУС РВ. Описывается типовая архитектура стендовой среды тестирования и интеграции ИУС РВ, приводятся различные варианты организации многомашинного прогона тестовых сценариев. Подробно рассматривается один из используемых в отечественной авиационной индустрии пакетов средств функционального тестирования бортовых ИУС РВ.

Шестая часть посвящена вопросам организации жизненного цикла разработки ПО ИУС РВ. Вводится типовой V-образный итеративный жизненный цикл разработки ПО, его фазы, процессы и вехи. Рассматриваются основные виды инструментальных средств поддержки жизненного цикла ПО ИУС РВ и подходы к построению на их основе единой технологической цепочки средств поддержки жизненного цикла ПО ИУС РВ.

The aim of this course is to introduce the students to the main principles of real time information control systems (RT ICS) design, organization of computations in RT ICS, typical architectures of computational blocks and data transfer networks of RT ICS, basic algorithmic problems of computations and data exchange scheduling in RT ICS, as well as algorithms for solving these problems. Specific emphasis is made on analysis of timing properties of RT ICS operation and justification of its conformance to deadlines, as well as to testing of RT ICS as hardware/software systems.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы					Самостоятельная работа учащегося, часы			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости: коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.	Всего	из них		
Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..							Всего		
Тема 1. Динамическое и статико-динамическое планирование вычислений в ИУС РВ. Схемы планирования RM и EDF. Математические модели оценки времени отклика задач. Подходы к проверке соблюдения директивных сроков. Планирование при наличии джиттера и перегрузки. Проблема инверсии приоритетов и	30	8	4	-	-	-	12	18	-	18

пути ее решения. Организация вычислений и планирование вычислений в ИУС РВ с интегрированной модульной архитектурой.										
Тема 2. Архитектура вычислительных блоков ИУС РВ. Типовая структура вычислительного блока ИУС РВ. Специализированные процессоры и системные шины, используемые в ИУС РВ. Схемы оптимизации энергопотребления процессоров при соблюдении директивных сроков. Арбитраж на шинах VME и CAN, оптимизация передачи данных по этим шинам.	9	6	3	-	-	-	9	-	-	-
Тема 3. Анализ наихудшего времени выполнения программ (WCET) в ИУС РВ. Анализ потока управления при оценке WCET. Анализ влияния	9	6	3	-	-	-	9	-	-	-

оборудования (конвейер, кэш) на WCET. Расчет итоговой оценки WCET. Оптимизация WCET, повышение временной предсказуемости выполнения программ в ИУС РВ. Эволюционные алгоритмы поиска нижней оценки WCET.										
Тема 4. Архитектура и методы конфигурирования сетей передачи данных (СПД) в ИУС РВ. Магистральные каналы с централизованным управлением, кольца с арбитражем, сети с пакетными коммутаторами как основные архитектуры СПД в ИУС РВ. Задачи и алгоритмы конфигурирования СПД для обеспечения передачи данных в реальном времени.	27	6	3	-	-	-	9	18	-	18
Тема 5. Тестирование, мониторинг и отладка ИУС РВ.	30	6	3	-	-	-	9	21	-	18

Тестирование ИУС РВ как аппаратно-программных систем. Мониторинг функционирования ИУС РВ. Организация стендовых сред тестирования. Основы работы с комплексом инструментальных средств функционального тестирования ИУС РВ.											
Тема 6. Жизненный цикл разработки программного обеспечения ИУС РВ. V-образный жизненный цикл (ЖЦ) ПО ИУС РВ, его фазы, процессы и вехи. Основные виды инструментальных средств поддержки ЖЦ ПО ИУС РВ. Подходы к построению единой технологической цепочки инструментов поддержки ЖЦ ПО.	6	4	2	-	-	-	6	-	-	-	
Итого	108						54	54			

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ УЧАЩИХСЯ

Самостоятельная работа учащихся состоит в изучении лекционного материала, учебно-методической литературы, выполнении домашних заданий.

11. РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Основная учебно-методическая литература

1. Burns, A., Wellings, A. Real-Time Systems and Programming Languages (Fourth Edition, Addison Wesley, 2009).
2. Kopetz, H. Real-Time Systems. Design Principles for Distributed Embedded Applications (Second Edition, Springer, 2011).

Дополнительная учебно-методическая литература

1. Tindell, K. Fixed Priority Scheduling of Hard Real-Time Systems. Ph.D. Thesis, University of York, 1993.
2. Wilhelm, R., Engblom, J., et al. The worst-case execution-time problem — overview of methods and survey of tools. ACM Trans. on Embedded Computing Systems (TECS), Vol. 7, No. 3, 2008.
3. Bygde, S. Static WCET Analysis based on Abstract Interpretation and Counting of Elements. Licenciate Thesis, Malardalen University, 2010.
4. Ковалев, А., Синенко, В. Стандарт VPX: путь к зрелости. Открытые системы. СУБД. 2014. N 10.
5. Парамонов, П., Жаринов, И. Интегрированные бортовые вычислительные системы: обзор современного состояния и анализ перспектив развития в авиационном приборостроении. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2013.
6. Gwaltney, D., Briscoe, J. Comparison of Communication Architectures for Spacecraft Modular Avionics Systems. Technical Report NASA/TM—2006–214431, 2006.
7. Guide to digital interface standards for military avionic applications. Avionic Systems Standardisation Committee. ASSC/110/6/2, Issue 2, 2003.
8. Синицын, С., Налютин, Н. Верификация программного обеспечения. МИФИ, 2006.

Информационные технологии, используемые в процессе обучения

Инструментальная среда функционального тестирования в составе виртуальной машины с гостевой ОС DebianLinux.

Материально-техническая база

Учебная аудитория, оснащенная мультимедийными средствами демонстрации.

12. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Русский

13. РАЗРАБОТЧИК ПРОГРАММЫ, ПРЕПОДАВАТЕЛИ

к.ф.-м.н., с.н.с. В.В. Балашов (hbd@cs.msu.su)

Оценочные средства для аттестации по дисциплине «Архитектура управляющих систем реального времени»

Аттестация состоит из двух этапов – выполнения практических контрольных заданий, проверяющих приобретенные учащимся умения и навыки, и индивидуального собеседования, проверяющего приобретенные знания.

Средства для оценивания планируемых результатов обучения, критерии и показатели оценивания приведены ниже.

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ	КРИТЕРИИ и ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ из соответствующих карт компетенций					ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА
	1	2	3	4	5	
	Неудовлетворительно	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично	
<p>ЗНАТЬ: современные математические методы, применяющиеся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий Код 31 (ОПК-1)</p>	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современных математических методах, применяющихся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий	В целом сформированные, но неполные знания о современных математических методах, применяющихся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о современных математических методах, применяющихся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий	Сформированные систематические знания о современных математических методах, применяющихся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий	Устный экзамен
<p>УМЕТЬ: применять современные методы постановки и анализа задач в области</p>	Отсутствие умений	Фрагментарные умения применять современные методы постановки и анализа задач в области	В целом успешное, но не систематическое умение применять современные	Успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять современные	Сформированное умение применять современные методы постановки и анализа задач в области	Устный экзамен

математики и информатики Код У1 (ОПК-1)		математики и информатики	методы постановки и анализа задач в области математики и информатики	методы постановки и анализа задач в области математики и информатики	математики и информатики	
ВЛАДЕТЬ: навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики Код В1 (ОПК-1)	Отсутствие навыков	Фрагментарное владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики	В целом успешное, но не полное владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики	Успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики	Сформированное владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики	Устный экзамен
ВЛАДЕТЬ: культурой научного исследования, в том числе с использованием современных информационно-коммуникационных технологий Код В1 (ОПК-2)	Отсутствие навыков	Фрагментарное владение культурой научного исследования, в том числе с использованием современных информационно-коммуникационных технологий	В целом успешное, но не полное владение культурой научного исследования, в том числе с использованием современных информационно-коммуникационных технологий	Успешное, но содержащее отдельные пробелы владение культурой научного исследования, в том числе с использованием современных информационно-коммуникационных технологий	Сформированное владение культурой научного исследования, в том числе с использованием современных информационно-коммуникационных технологий	Устный экзамен
ЗНАТЬ: современные методы разработки и реализации алгоритмов	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современных методах разработки и	В целом сформированные, но неполные знания о	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о	Сформированные систематические знания о современных	Устный экзамен

организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения Код 31 (ПК-2)		реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения	современных методах разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения	современных методах разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения	методах разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения	
УМЕТЬ: применять современные методы разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения Код У1 (ПК-2)	Отсутствие умений	Фрагментарные умения применять современные методы разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения	В целом успешное, но не систематическое умение применять современные методы разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения	Успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять современные методы разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения	Сформированное умение применять современные методы разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения	Отчет
ВЛАДЕТЬ: навыками оптимального выбора современных методов разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей	Отсутствие навыков	Фрагментарное владение навыками оптимального выбора современных методов разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и	В целом успешное, но не полное владение навыками оптимального выбора современных методов разработки и реализации	Успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками оптимального выбора современных методов разработки и реализации алгоритмов	Сформированное владение навыками оптимального выбора современных методов разработки и реализации алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и	отчет

последнего поколения Код В1 (ПК-2)		компьютерных сетей последнего поколения	алгоритмов организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения	организации работы вычислительных комплексов и компьютерных сетей последнего поколения	компьютерных сетей последнего поколения	
З1 (СПК-2) Знать: основные архитектурные решения, используемые при построении ИУС РВ; математические модели планируемости вычислений в ИУС РВ; подходы к оценке наихудшего времени выполнения задач в ИУС РВ; базовые алгоритмические задачи построения модульных ИУС РВ, конфигурирования сетей передачи данных (СПД) в ИУС РВ, и алгоритмы их решения; фазы жизненного цикла (ЖЦ) ПО ИУС РВ и виды инструментальных средств поддержки ЖЦ, включая стендовые среды тестирования.	Отсутствие знаний по перечисленным темам	Фрагментарные представления о перечисленных темах	В целом сформированные, но неполные знания по пере- численным темам	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания по перечисленным темам.	Сформированные систематические знания по перечисленным темам.	индивидуальное собеседование
У1 (СПК-2) Уметь оценивать динамическую	Отсутствие умений	Фрагментарные умения	В целом сформированное, но не	Сформированное, но содержащее отдельные	Сформированное систематическое умение	практическое контрольное задание

<p>планируемость наборов задач в ИУС РВ; решать базовые алгоритмические задачи планирования вычислений в модульных ИУС РВ, конфигурирования СПД в составе ИУС РВ; применять средства функционального тестирования ИУС РВ и анализировать результаты тестирования.</p>			<p>систематическое умение</p>	<p>пробелы умение</p>		
<p>V1 (СПК-2) Владеть навыками формальной проверки соблюдения директивных сроков выполнения вычислений в ИУС РВ, навыками проверки временных и функциональных характеристик функционирования ИУС РВ в стендовых средах тестирования.</p>	<p>Отсутствие навыков</p>	<p>Фрагментарное владение</p>	<p>В целом сформированное, но не систематическое владение</p>	<p>Сформированное, но содержащее отдельные пробелы владение</p>	<p>Сформированное систематическое владение</p>	<p>практическое контрольное задание</p>

Фонды оценочных средств

Примерные практические контрольные задания для текущего контроля успеваемости.

1. Практическое задание «Анализ динамической планируемости наборов задач».

В однопроцессорной вычислительной системе реального времени (ВС РВ) используется динамическое планирование выполнения задач по схеме с фиксированными приоритетами. Выполнение задач происходит с вытеснением. Для оценки планируемости набора задач используются формулы, описанные в лекциях. Требуется реализовать программу, оценивающую планируемость по этим формулам.

Входные данные: дана информация о наборе задач для выполнения на ВС РВ с динамическим планированием; про каждую задачу известно имя (текстовая строка) и следующие числовые параметры (натуральные числа):

- период;
- приоритет (чем выше значение, тем больше приоритет);
- относительный директивный срок, не превосходящий период;
- длительность выполнения.

Необходимо написать программу, которая:

а) проверяет описанные в лекциях условия планируемости и выдает диагноз по планируемости (ответ «YES», если гарантируется выполнение всех задач с соблюдением директивных сроков или «NO» — в противном случае);

б) в случае отрицательного ответа также выводит имя первой (по порядку уменьшения приоритета) задачи, для которой время отклика оказалось больше директивного срока.

2. Практическое задание «Построение статического расписания передачи данных».

В вычислительной системе реального времени используется канал передачи данных с централизованным управлением. Вытеснение сообщений недопустимо, передача следующего сообщения может начаться только после завершения передачи предыдущего сообщения. Контроллер канала работает в соответствии со статическим расписанием передачи сообщений.

Входные данные: дана информация о наборе периодических заданий для контроллера канала; для каждого задания указаны следующие числовые параметры (натуральные числа):

- числовой идентификатор (номер);
- число слов данных;
- частота;
- начальный фазовый сдвиг;
- конечный фазовый сдвиг.

Также заданы значения технологических ограничений на расписание, таких как длительность подцикла, максимальное число работ в цепочке работ, максимальная длительность цепочки работ.

Необходимо написать программу, которая строит расписание передачи сообщений при помощи заданного алгоритма, а также определяет наиболее «сильные» значения технологических ограничений, при которых заданный алгоритм строит полное и корректное расписание.

3. Практическое задание «Функциональное тестирование бортовой вычислительной машины, представленной в виде имитационной модели»

При тестировании бортовой ИУС РВ, тестовые сценарии выполняют обмен данными с устройствами ИУС РВ по бортовым каналам, выдавая в канал тестовые данные и принимая ответные данные от тестируемых устройств. Принятые данные проверяются на предмет корректности значений и своевременности поступления.

Для выполнения задания учащемуся предоставляется виртуальная машина с комплектом средств функционального тестирования (ФТ), а также с упрощенной программной моделью бортовой цифровой вычислительной машины (БЦВМ), имитирующей несколько режимов работы БЦВМ. Также даны спецификации ряда требований к функционированию БЦВМ, определяющих последовательность смены режимов и порядок выполнения информационного обмена по внешним (для БЦВМ) каналам в каждом из режимов.

Необходимо с использованием средств ФТ реализовать тестовые сценарии, проверяющие заданные требования применительно к модели БЦВМ, и осуществить прогон этих сценариев. В модели БЦВМ сознательно допущены отдельные «ошибки», приводящие к отклонениям функционирования модели от некоторых из требований. Важным признаком понимания материала является выявление этих ошибок при прогоне тестовых сценариев, а не реализация тестовых сценариев так, чтобы они успешно выполнялись, несмотря на ошибки в модели БЦВМ.

Список вопросов для индивидуального собеседования на втором этапе аттестации.

1. Состав ИУС РВ, основные виды устройств в составе ИУС РВ. Функции и специфика работы ИУС РВ. Реагирующие системы. Градации требований реального времени.
2. Развитие архитектуры ИУС РВ. Неоднородность ИУС РВ по типам каналов, устройств, данных.
3. Динамическое планирование задач в ИУС РВ. Схемы планирования RateMonotonic (фиксированные приоритеты) и EarliestDeadlineFirst (динамические приоритеты). Условия планируемости наборов задач при директивных сроках, равных периодам.
4. Оценка времени отклика задач для схемы RM при директивных сроках, не превышающих периоды; её использование для анализа планируемости наборов задач. Схема обоснования формул для оценки времени отклика.
5. Критические секции. Инверсия приоритетов, пример MarsPathfinder. Схемы наследования приоритета и потолка приоритета.
6. Критерий потребности в процессорном времени (processordemand) для оценки планируемости задач в схеме EDF. Схема обоснования этого критерия.

7. Джиттер (флуктуация задержки) при динамическом планировании. Виды джиттера, подходы к его минимизации. Сравнение схем RM и EDF с точки зрения джиттера. Планирование задач без вытеснения: преимущества и недостатки, использование для борьбы с джиттером.
8. Планирование вычислений при перегрузке системы. Особенности работы схем RM и EDF в условиях перегрузки. Схема компенсации перегрузки на основе растяжимых («эластичных») периодов задач.
9. Архитектура интегрированной модульной авионики (ИМА), её отличия от федеративной архитектуры ИУС РВ. Организация программного обеспечения в системах ИМА: разделы, информационное взаимодействие между разделами и внутри разделов. Схема статико-динамического выполнения задач в системах ИМА.
10. Задача планирования вычислений в системах ИМА. Жадный алгоритм привязки разделов к процессорным ядрам. Алгоритм построения набора окон. Роль модели вычислительной системы при планировании вычислений в системе ИМА, схема работы модели. Проблема использования только наилучших оценок времени выполнения задач.
11. Ограничения на процессоры в ИУС РВ, источники этих ограничений. Проблемы применения в ИУС РВ высокопроизводительных процессоров общего назначения («настоольных», «серверных»). Примеры специализации процессоров: мультимедийные команды, специализированные регистры, множественные банки и шины памяти, устройства вычисления адресов, адресация по модулю.
12. Специализированные процессоры: микроконтроллеры, процессоры цифровой обработки сигналов (DSP), процессоры с длинным командным словом (VLIW). Проблема загрузки ресурсов VLIW-процессора. Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС, FPGA), их структура и принцип применения. Специализированные микросхемы (ASIC), ниша для их рационального применения.
13. Проблема энергопотребления вычислительной системы, актуальность этой проблемы для ИУС РВ. Связь между мощностью и энергопотреблением; основания для минимизации каждой из этих характеристик системы. Связь между частотой работы процессора, напряжением питания и затратами энергии на такт работы. Использование параллелизма для снижения энергопотребления (конвейер, множественные функциональные устройства, VLIW-архитектура).
14. Динамическая регулировка напряжения процессора. Выбор оптимального напряжения питания (на примере). Алгоритм YDS планирования вычислений с минимизацией энергопотребления за счёт регулировки напряжения питания.
15. Понятие WCET. Актуальность WCET для анализа времени отклика задач в ИУС РВ. Типичное распределение времён выполнения программы на различных данных. Требования к оценке WCET. Проблемы при оценке WCET методом замеров. Два основных фактора, определяющих WCET. Зависимость длительности выполнения пути в программе от длительностей команд, входящих в путь (для простой и для реалистичной архитектуры).
16. Фазы анализа WCET. Анализ потоков. Оценка числа итераций циклов, выявление недопустимых путей. Использование абстрактной интерпретации. Аннотирование кода для поддержки анализа WCET – для простейшей и для реалистичной архитектуры процессора.
17. Фазы анализа WCET. Низкоуровневый анализ. Проблемы моделирования временных характеристик аппаратуры, важность предсказуемости задержек от аппаратуры. Анализ влияния конвейера, отражение результатов анализа на графе потока управления. Анализ влияния кэш-памяти. Актуальность совместного анализа влияния конвейера и кэш-памяти на время выполнения участков кода.

18. Фазы анализа WCET. Вычисление оценки WCET. Методы расчета WCET: по синтаксическому дереву программы; по путям выполнения; метод неявного перебора путей.
19. Критичность временной предсказуемости функционирования ИУС РВ. Критерии производительности для систем реального времени и «обычных» вычислительных систем. Линеаризация кода. Предикатное выполнение команд и его использование для линеаризации кода. Свойства линейного кода (с точки зрения сложности анализа и производительности). Обеспечение константного времени выполнения линейного кода. Общая схема оптимизации WCET на этапе компиляции. Проблема изменения наилучшего пути в результате оптимизации.
20. Измерение WCET: в каких случаях это допустимо? Схема оценки WCET с помощью измерений, основные методы инструментирования систем для оценки WCET. Оценка WCET как оптимизационная задача. Применение эволюционных алгоритмов для оценки WCET. Безопасность получаемых оценок.
21. Технологические ограничения на вычислительные блоки ИУС РВ, источники этих ограничений. Характеристики однопроцессорных центральных ЭВМ на примере марсоходов. Мезонинная архитектура одноплатных компьютеров. Пример системы из однопроцессорных блоков со слабой интеграцией.
22. Шина VME. Роли модулей на шине VME. Процедура передачи данных по шине VME. Механизмы прерываний и блочной передачи данных на шине VME. Недостатки шины VME. Стандарт VPX как путь к устранению этих недостатков.
23. Интегрированная модульная авионика (ИМА). Архитектура систем ИМА, преимущества этой архитектуры. Шина данных и сервисная шина в системах ИМА, схема арбитража на сервисной шине CAN. Примеры модулей в системах ИМА.
24. Схема функционирования канала с централизованным управлением и роли устройств на нём. Преимущества схемы с централизованным управлением. Канал MIL STD-1553B и его использование на Международной космической станции. Эволюция стандарта MILSTD-1553B: каналы EBR-1553, MIL STD-1760, STANAG 3910. Организация обмена с централизованным управлением на шине CAN.
25. Задача построения расписания выполнения работ в одноприборном устройстве. Задача построения расписания передачи сообщений по шине с централизованным управлением. Технологические ограничения на обмен для схемы с подциклами и схемы без подциклов. Жадный алгоритм построения расписания передачи сообщений, основные недостатки этого алгоритма.
26. Кольцо с арбитражем Fibre Channel, схема его функционирования. Процедура арбитража. Протокол FC-AE-1553 и его использование для работы унаследованных устройств, поддерживающих протокол MIL STD-1553B.
27. Задача совместного планирования вычислений и обмена по каналу с централизованным управлением. Подходы к решению этой задачи. Жадный алгоритм совместного планирования, в т.ч. решение проблемы зависимости длительности передачи сообщений от привязки задачи-отправителя и задачи-получателя к абонентам канала.
28. Недостатки каналов точка-точка при использовании в ИУС РВ. Подход к устранению этих недостатков при помощи мультиплексных каналов, недостатки этого подхода. Организация сети ИУС РВ на основе коммутаторов. Преимущества и недостатки такой организации. Устранение недостатков за счёт поддержки виртуальных каналов.
29. Сети на основе стандарта AFDX: архитектура, стек протоколов, маршрутизация потоков данных. Параметры виртуальных каналов AFDX. Формирование трафика AFDX на оконечной системе, контроль трафика на коммутаторе.

30. Задачи проектирования сети AFDX. Оценка длительности передачи кадра через сеть AFDX. Проблема возрастания джиттера при объединении потоков данных на коммутаторе, причины возникновения этой проблемы. Профиль FibreChannel реального времени, его сходства и отличия от протокола AFDX.
31. Сети Ethernet с временной синхронизацией (TTEthernet). Организация бесконфликтной передачи данных, разделение времени на каждом узле сети. Планирование передачи данных по сети TTEthernet: набор линейных ограничений, последовательность шагов планирования на основе этих ограничений.
32. Перспективы применения программно-конфигурируемых сетей (ПКС) в ИУС РВ. Выбор между активным и пассивным режимом. Функциональность приложения управления трафиком для контроллера ПКС в ИУС РВ. Ниша для применения ПКС в ИУС РВ.
33. Требования к средствам тестирования ИУС РВ. Архитектура стенда тестирования ИУС. Задачи, требующие работы с натурными устройствами ИУС на стенде. Аппаратная база стенда. Примеры стендов, построенных по описанной архитектуре. Процесс совместного применения стендов для отработки бортовых ИУС РВ.
34. Архитектура имитационной среды (ИС) стенда тестирования ИУС: на основе дискретно-событийной схемы с передачей сообщений, на основе общей памяти с единым полем параметров. Выбор архитектуры ИС в зависимости от требований к ИС. Схема работы точек ожидания в дискретно-событийной ИС. Структура ПО дискретно-событийной ИС.
35. Основные понятия языка описания тестов (ЯОТ), используемого на стенде. Тестовые компоненты, интерфейсы, сообщения, битовые поля, тестовые случаи, тестовые шаги. Типовая организация тестового шага. Взаимодействие с пользователем при интерактивном тестировании. Протокол тестирования, его содержание и назначение. Процедура подготовки и проведения тестирования.
36. Уровни информационного обмена по каналам в ИУС РВ. Способы подключения монитора к каналам различной топологии. Задачи мониторинга на различных уровнях: физическом, канальном, логическом. Средства мониторинга обмена по каналам в ИУС РВ на перечисленных уровнях.
37. Мониторинг межзадачного обмена в ИУС РВ. Инструментирование ПО ИУС РВ для выполнения мониторинга, негативное влияние инструментирования на точность наблюдений. Виды представления информации: снимки, трасса. Примеры системной информации, доступной для мониторинга.
38. V-образный жизненный цикл ПО ИУС РВ. Основные процессы жизненного цикла по стандарту DO-178B.
39. Фазы жизненного цикла ПО ИУС РВ. Соотношение фаз и процессов жизненного цикла. Основные вехи жизненного цикла ПО по стандарту DO-178B и их место в рамках V-образного жизненного цикла.
40. Средства поддержки разработки требований, примеры требований к ИУС РВ. Средства версионного и конфигурационного контроля. Древовидная структура версий. Средства отслеживания проблем и изменений. Жизненный цикл сообщения о проблеме.
41. Средства поддержки сопряжения подсистем ПО ИУС РВ. Средства автоматизации проектирования индикационных форматов. Средства проектирования алгоритмов бортового ПО. Отладка ПО ИУС РВ на реальном блоке ИУС. Общие требования к построению технологической цепочки средств поддержки жизненного цикла ПО ИУС РВ.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Оценка результатов обучения формируется из оценок за выполнение практических заданий и оценки за итоговое собеседование.

Каждое из 3 заданий оценивается исходя из максимум 1 балла, суммарно за задания – максимум 3 балла.

На итоговом собеседовании можно набрать максимум 2 балла. Таким образом, учащийся может суммарно набрать до 5 баллов. Итоговая сумма, не меньшая 4,5 баллов, соответствует оценке «отлично», от 3,7 до 4,4 – оценке «хорошо», от 3,0 до 3,6 – оценке «удовлетворительно», меньшая 3,0 – оценке «неудовлетворительно».