

Вопросы по курсу
«Архитектура управляющих систем реального времени»
(осенний семестр 2019 г.)

Лекция 1. Введение в информационно-управляющие системы реального времени (ИУС РВ).

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.

Лекция 2. Динамическое планирование вычислений и оценка планируемости (часть 1)

3. Динамическое планирование задач в ИУС РВ. Схемы планирования Rate Monotonic (фиксированные приоритеты) и Earliest Deadline First (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.

Лекция 3. Динамическое планирование вычислений и оценка планируемости (часть 2)

5. Критические секции. Инверсия приоритетов, пример Mars Pathfinder. Схемы наследования приоритета и потолка приоритета.
6. Критерий потребности в процессорном времени (processor demand) 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.

Лекция 4. Процессоры в ИУС РВ

9. 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.
10. Специализированные процессоры: микроконтроллеры, процессоры цифровой обработки сигналов (DSP), процессоры с длинным командным словом (VLIW). Проблема обеспечения загрузки ресурсов VLIW-процессора. Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС, FPGA), их структура и принцип применения. Специализированные микросхемы (ASIC), ниша для их рационального применения.
11. 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).
12. Динамическая регулировка напряжения процессора. Выбор оптимального напряжения питания (на примере). Алгоритм YDS планирования вычислений с минимизацией энергопотребления за счёт регулировки напряжения питания: статическая («offline») версия алгоритма.

Лекция 5. Оценка наихудшего времени выполнения программ (WCET)

13. 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).
14. 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.
15. 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.
16. Фазы анализа WCET. Вычисление оценки WCET. Методы расчета WCET: по синтаксическому дереву программы; по путям выполнения; метод неявного перебора путей.

Лекция 6. Оптимизация наихудшего времени выполнения программ (WCET), измерение WCET

17. 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 наихудшего пути в результате оптимизации.
18. 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.

Лекция 7. Архитектура вычислительных блоков ИУС РВ

19. 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.
20. 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.
21. 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.

Лекция 8. Каналы с централизованным управлением

22. 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 MIL STD-1553B: каналы EBR-1553, MIL STD-1760, STANAG 3910. Организация обмена с централизованным управлением на шине CAN.
23. 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.

24. 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.
25. 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.

Лекция 9. Коммутируемые сети

26. 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.
27. 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.
28. 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 Fibre Channel реального времени, его сходства и отличия от протокола AFDX.
29. 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.
30. 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.

Лекция 10. Сквозное планирование вычислений и информационного обмена на примере системы интегрированной модульной авионики

31. 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.
32. Поэтапная схема планирования вычислений в системах ИМА. Рабочая нагрузка на вычислительные ресурсы и сеть передачи данных в системе ИМА. Задачи распределения вычислительной нагрузки, построения конфигурации сети, построения расписания окон. Их связь по входным и выходным данным.
33. Жадный алгоритм распределения вычислительной нагрузки. Алгоритм построения набора окон. Роль модели вычислительной системы при планировании вычислений в системе ИМА, схема работы модели. Проблема использования только наихудших оценок времени выполнения задач.

Лекция 11. Тестирование и интеграция ИУС РВ

34. 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.
35. 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.

36. Основные понятия языка описания тестов (ЯОТ), используемого на стенде. Тестовые компоненты, интерфейсы, сообщения, битовые поля, тестовые случаи. Типовая организация тестового случая. Взаимодействие с пользователем при интерактивном тестировании. Протокол тестирования, его содержание и назначение. Процедура подготовки и проведения тестирования.

Лекция 12. Мониторинг обмена данными в ИУС РВ

37. 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.
38. 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.

Лекция 13. Жизненный цикл ПО ИУС РВ и инструментальные средства его поддержки

39. V-образный жизненный цикл ПО ИУС РВ. Основные процессы жизненного цикла по стандарту DO-178B.
40. 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.
41. 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.
42. 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.