

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кубанский государственный университет»

Факультет компьютерных технологий и прикладной математики
Кафедра вычислительных технологий

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по учебной работе,
качеству образования – первый
проректор
Хагуров Т.А.
05 2019 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.О.02 «СПЕЦИФИКАЦИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ ВЫЧИСЛИМЫМИ
ЛОГИКАМИ»**

Направление
подготовки/специальность 02.04.02 **Фундаментальная информатика и
информационные технологии**
(код и наименование направления подготовки/специальности)

Направленность (профиль) /
специализация Интеллектуальные системы и технологии
(наименование направленности (профиля) специализации)

Программа подготовки академическая магистратура
(академическая /прикладная)

Форма обучения очная
(очная, очно-заочная, заочная)

Квалификация выпускника магистр
(бакалавр, магистр, специалист)

Краснодар 2019

Рабочая программа дисциплины Б1.О.02 «СПЕЦИФИКАЦИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ ВЫЧИСЛИМЫМИ ЛОГИКАМИ» составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Программу составил(а):

Жуков Сергей Александрович, доцент, к. ф.-м. н., доцент
Ф.И.О. ,должность, ученая степень, ученое звание

подпись



Рабочая программа дисциплины Б1.О.02 «СПЕЦИФИКАЦИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ ВЫЧИСЛИМЫМИ ЛОГИКАМИ» утверждена на заседании кафедры Вычислительных Технологий протокол № 7«26»апреля2019 г.

Заведующий кафедрой (разработчика) Вишняков Ю. М.

фамилия, инициалы

подпись



Утверждена на заседании учебно-методической комиссии факультета Компьютерных Технологий и Прикладной Математики протокол № 1 от «15» мая2019 г

Председатель УМК факультета Коваленко А.В.

фамилия, инициалы

подпись



Рецензенты:

Гаркуша О.В., доцент кафедры информационных технологий
ФБГОУ ВО «Кубанский государственный университет»,
кандидат физико-математических наук.

Схаляхо Ч.А., доцент КВВУ им.С.М.Штеменко, к.ф.-м.н., доцент

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цели освоения дисциплины

Целью преподавания и изучения дисциплины «Спецификация и верификация вычислимыми логиками» является формирование у магистрантов способности понимать и составлять функционально-поведенческие спецификации создаваемых реактивных систем, логические модели для таких систем, а также знать основные подходы и методы проверки выполнимости логических спецификаций на моделях реактивных систем.

1.2 Задачи дисциплины

Студент должен **знать** основные понятия, подходы и методы спецификации реактивных систем (программ, цифровых схем, коммуникационных протоколов), методы и технологии модельной проверки таких систем; **уметь** применять современные средства описания моделей реактивных систем и функционально-поведенческой спецификации; **владеть** технологиями модельной проверки реактивных систем на их соответствие заданным спецификациям.

1.3 Место дисциплины в образовательной программе

Дисциплина «Спецификация и верификация вычислимыми логиками» относится к базовой части блока Б1 Дисциплины (модули).

Для изучения дисциплины необходимо знание основ алгебры, дискретной математики, теории алгоритмов и вычислительных процессов. Знания, получаемые при изучении этой дисциплины, используются при изучении других дисциплин профессионального цикла учебного плана магистра (Параллельные базы данных, Организация и программное обеспечение встроенных и мобильных систем, Прикладные логики агентных систем), а также при работе над магистерской диссертацией.

1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В процессе освоения дисциплины у магистранта формируются следующие компетенции:

| № п.п. | Индекс компетенции | Содержание компетенции (или ее части) | В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны | | |
|--------|--------------------|--|---|---|--|
| | | | знать | уметь | владеть |
| 1 | ОПК-1 | Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы прикладной математики, фундаментальной информатики и информационных технологий | фундаментальные концепции и подходы в области создания надежных программных систем, а также знания, стандарты качества программных систем | использовать углубленные теоретические и практические знания в области информационных технологий и прикладной логики, фундаментальные | методами верификации и практических решений в области информационных технологий, а также знаний, которые |

| | | | | | |
|---|-------|---|---|--|--|
| | | | | концепции и средства специфицирования поведения сложных систем | находятся на передовом рубеже данной науки, инструментами проверки правильности архитектуры информационных систем |
| 2 | ОПК-3 | Способен проводить анализ математических моделей, создавать инновационные методы решения прикладных задач профессиональной деятельности в области информатики и математического моделирования | фундаментальные концепции и подходы в области создания надежных программных систем, а также знания, стандарты качества программных систем | использовать углубленные теоретические и практические знания в области информационных технологий и прикладной логики, фундаментальные концепции и средства специфицирования поведения сложных систем | методами верификации практических решений в области информационных технологий, а также знаний, которые находятся на передовом рубеже данной науки, инструментами проверки правильности архитектуры информационных систем |

2 Структура и содержание дисциплины

2.1 Распределение трудоемкости дисциплины по видам работ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 ЗЕТ (180 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице.

| Вид учебной работы | Всего часов | Семестры |
|--|-------------|-------------|
| | | 11 |
| Аудиторные занятия (всего) | 72,3 | 72,3 |
| В том числе: | | |
| Занятия лекционного типа | 36 | 36 |
| Лабораторные занятия | 36 | 36 |
| КСР | | |
| ИКР | 0,3 | 0,3 |
| Самостоятельная работа (всего) | 81 | 81 |
| В том числе: | | |
| Проработка учебного (теоретического) материала | 81 | 81 |
| Промежуточная аттестации | экзамен | экзамен |
| Контроль | 26,7 | 26,7 |
| Общая трудоемкость час зач. ед. | 180 5 | 180 |

2.2 Структура дисциплины

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины. Разделы дисциплины, изучаемые в 11 семестре.

| № Раздела | Наименование раздела | Количество часов | | | | | | |
|--------------|---|------------------|-------------------|----|-----|-----|----------------------|----------|
| | | Всего | Аудиторная работа | | | | Внеаудиторная работа | |
| | | | Лек | ЛР | КСР | ИКР | СРС | Контроль |
| 1 | Моделирование реактивных систем | 18 | 4 | 4 | | | 10 | |
| 2 | Логическая спецификация реактивных систем | 23 | 4 | 5 | | | 14 | |
| 3 | Темпоральные логики | 27 | 6 | 6 | | | 15 | |
| 4 | Модельная проверка | 31 | 10 | 7 | | | 14 | |
| 5 | Символьная верификация | 30 | 10 | 6 | | | 14 | |

| | моделей | | | | | | | |
|---|---|-----|----|----|--|-----|----|------|
| 6 | Программный инструментарий для модельной проверки | 51 | 2 | 8 | | 0,3 | 14 | 26,7 |
| 7 | Всего | 180 | 36 | 36 | | 0,3 | 81 | 26,7 |

2.3 Содержание разделов дисциплины

2.3.1 Занятия лекционного типа

| № раздела | Наименование раздела | Содержание раздела | Форма текущего контроля |
|-----------|---|---|-------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Моделирование реактивных систем | Понятие реактивной системы (РС). Модель Крипке. Подход к описанию РС моделью Крипке. Пример. | ЛР |
| 2 | Логическая спецификация реактивных систем | Логическое описание цифровой схемы моделью Крипке. Трансляция типовой программы в модель Крипке. | ЛР |
| 3 | Темпоральные логики | Характеристика темпоральной логики. Логики LTL, CTL и CTL* | ЛР |
| 4 | Модельная проверка | Семантика темпоральной логики. Смысл модельной проверки. Автоматы Бюхи и их свойства. Алгоритмический базис модельной проверки. | ЛР |
| 5 | Символьная верификация моделей | Логические функции в форме OBDD. Топологическая трактовка темпоральных операторов. Алгоритмы вычисления неподвижных точек. | ЛР |
| 6 | Программный инструментарий для модельной проверки | Характеристика систем SPIN, SMV. Назначение и возможности языка Promela. | ЛР |

2.3.2 Занятия семинарского типа

Учебным планом не предусмотрены.

2.3.3 Лабораторные работы

| № работы | № раздела дисциплины | Наименование лабораторных работ |
|----------|----------------------|--|
| 1 | 1 | Построение моделей Крипке для цифровых схем и систем переходов |
| 2 | 2 | Построение моделей Крипке для последовательных программ |

| | | |
|-------|---|---|
| 3 | 2 | Построение моделей Крипке для параллельных программ |
| 4–5 | 3 | Использование темпоральных логик. Выполнимость формул на заданных моделях Крипке |
| 6–8 | 4 | Построение автоматов Бюхи и их анализ на выявление компонент сильной связности. |
| 9–11 | 5 | Построение OBDD для логических формул. Вычисление неподвижных точек заданных преобразователей предикатов. |
| 12–14 | 6 | Применение языка Promela для спецификации и модельной проверки небольших систем. |

2.3.4 Самостоятельное изучение разделов дисциплины

Раздел 1. Примеры реактивных систем. Реактивные системы заданные в виде системы переходов. Примеры моделей Крипке. Развертка моделей Крипке. Модели Крипке для программ (последовательных и параллельных).

Раздел 2. Спецификация цифровых схем логическими формулами. Спецификация программ логическими формулами. Формулировка свойств справедливости в терминах модели Крипке. Свойства безопасности и живости и примеры их актуальности.

Раздел 3. Развертки моделей Крипке и кванторы путей. Выразимость темпоральных операторов в сокращенном базисе. Рекурсивные уравнения для операторов F, G, U, R. Сравнение логик LTL, CTL и CTL*. Формулировка свойств справедливости, безопасности и живости средствами темпоральных логик.

Раздел 4. Свойства замкнутости для автоматов Бюхи. Сравнение детерминированных и недетерминированных автоматов Бюхи. Алгоритм проверки непустоты ω -регулярного языка для заданного автомата Бюхи. Построение автомата Бюхи по заданной LTL-формуле. Алгоритм разметки состояний модели Крипке под формулами заданной CTL-формулы и его расширение для CTL*-логики.

Раздел 5. Построение OBDD для логических формул. Влияние упорядоченности переменных на размер OBDD. Построение OBDD для результирующей логической формулы по OBDD логических формул-операндов и логической операции. Анализ процедур Reduce, Apply для манипулирования с OBDD. Представление модели Крипке набором подходящих OBDD. Свойства монотонных преобразователей предикатов. Вычисление наименьшей и наибольшей неподвижных точек для преобразователя предикатов. Неподвижные точки для основных темпоральных операторов. Квантифицированные булевские формулы.

Раздел 6. Структура системы SPIN и порядок работы с ней в оконно-графическом и командном интерфейсе. Операторы языка Promela и организация Promela-программы. Организация системы SMV. Синтаксис и семантика входного языка SMV-системы.

3. Образовательные технологии

При проведении занятий по дисциплине используются следующие образовательные технологии:

- технология разноуровневого обучения (дифференцированное обучение);
- технология коллективного взаимодействия (организованный диалог, коллективный способ обучения).

Технология адаптивного обучения (индивидуализированное обучение).

| Семестр | Вид занятия (Л, ЛР) | Используемые интерактивные образовательные технологии | Количество часов |
|---------|---------------------|---|------------------|
| 11 | Л | Компьютерные презентации и обсуждение | 36 |
| | ЛР | Разбор конкретных задач, задания на программирование моделей реактивных систем с использованием специализированного ПО. | 36 |
| Итого: | | | 72 |

4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

4.1 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля

Фонд оценочных средств дисциплины состоит из средств текущего контроля выполнения заданий, лабораторных работ, средств для итоговой аттестации (экзамена в 11 семестре).

Оценка успеваемости осуществляется по результатам:

- выполнения лабораторных работ;
- ответов на экзамене (для выявления знания и понимания теоретического материала дисциплины и практических навыков).

4.2 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

4.2.1 Перечень вопросов к экзамену

1. Понятие реактивной системы и примеры реактивных систем. Постановка задачи модельной проверки и ее отличие от дедуктивной верификации.
2. Определение модели Крипке и развертка модели. Пример модели Крипке.
3. Логическое описание модели Крипке. Пример логического описания.
4. Логическое описание цифровой схемы. Пример описания цифровой схемы.
5. Типовой набор операторов последовательной программы и правила разметки последовательной программы.
6. Правила трансляции размеченной программы в систему логических формул.
7. Смысл условий справедливости, безопасности и живости. Выразимость условий справедливости в модели Крипке.
8. Темпоральные операторы LTL-логики и их свойства. Примеры использования.
9. Кванторы путей в дереве вычислений. Структура формул STL-логики. Смысл формул путей и формул состояния. Примеры STL-формул.
10. Структура формул STL*-логики. Сравнение LTL-логики, STL-логики и STL*-логики.
11. Определение автомата Бюхи. Определение ω -регулярного языка. Трансляция модели Крипке в автомат Бюхи.
12. Обобщенный автомат Бюхи. Определение ω -регулярного языка для обобщенного автомата Бюхи. Теорема о консервативности.
13. Свойства замкнутости класса ω -регулярных языков. Критерий непустоты ω -регулярного языка, определенного заданным автоматом Бюхи.
14. Формулировка модельной проверки через проблему пустоты ω -регулярного языка. Основные шаги алгоритма модельной проверки, основанной на применении автоматов Бюхи и проверки свойства пустоты.

15. Построение автомата Бюхи по заданной LTL-формуле. Представление состояний автомата, отношения переходов и семейства допускающих состояний.
16. Выразимость темпоральных операторов CTL-логики через EX, EG, EU и логические связки.
17. Алгоритм разметки состояний модели Крипке формулами CTL-логики (за исключением случая формул с EU).
18. Алгоритм разметки состояний модели Крипке формулами CTL-логики с оператором EU.
19. Алгоритм разметки состояний модели Крипке формулами CTL-логики с оператором EG.
20. Подход к разметке состояний модели Крипке формулами CTL-логики, учитывающий условия справедливости.
21. Подход к модельной проверке формулы CTL*-логики.
22. Неразрешимость униформной модельной проверки.
23. Определение двоичного разрешающего дерева для заданной логической формулы и двоичной разрешающей диаграммы по нему. Правила построения упорядоченной двоичной разрешающей диаграммы – OBDD. Примеры OBDD.
24. Представление отношений и множеств упорядоченными двоичными разрешающими диаграммами – OBDD. Подход к представлению модели Крипке OBDD.
25. Преобразователь предикатов на множестве состояний модели Крипке. Свойства монотонности, непрерывности. Определение и смысл неподвижной точки преобразователя предикатов.
26. Свойства монотонных преобразователей предикатов. Вычисление неподвижных точек преобразователей предикатов.
27. Представление темпоральных операторов как неподвижных точек преобразователей предикатов.
28. Структура квантифицированных булевских формул и определение их значений.
29. Символьный алгоритм модельной проверки для CTL-формул.
30. Назначение и структура SPIN. Назначение и структура SMV.
31. Характеристика языка Promela. Типы, работа с каналами. Управление.
32. Задание процессных типов. Процесс init. Задание логических формул в Promela.

4.2.2 Образцы билетов

Билет №1

1. Смысл условий справедливости, безопасности и живости. Выразимость условий справедливости в модели Крипке.
2. Назначение и структура SPIN. Назначение и структура SMV.
3. Построить LTL-формулу, выражающую свойство “состояние, удовлетворяющее r , встречается самое большее один раз на каждом вычислении”. Построить модель Крипке, на которой эта формула выполняется.

Билет №2

1. Определение автомата Бюхи. Определение ω -регулярного языка. Трансляция модели Крипке в автомат Бюхи.

2. Представление отношений и множеств упорядоченными двоичными разрешающими диаграммами – OBDD. Подход к представлению модели Крипке OBDD.

Какое свойство модели Крипке выражается формулой:

3. $E(p_0 \ \& \ Xp_1 \ \& \ XXp_2 \ \& \ \dots \ \& \ X^n p_n)$, p_0, p_1, \dots, p_n – атомарные предикаты, причем предикат p_k истинен только в состоянии s_k модели Крипке.

Постройте модель Крипке, удовлетворяющую этому свойству.

4.2.3 Критерии оценивания к экзамену

Оценка «отлично»:

1) по теоретическим вопросам даны точные формулировки алгоритмов, теорем и правильные доказательства; точные определения математических объектов и ясные и правильные определения объектов, характеризующихся неформализованными понятиями;

2) по практической части приведены достоверные результаты исследования и даны подробные пояснения.

Оценка «хорошо»:

1) по теоретическим вопросам – при ответе на один вопрос даны точные формулировки алгоритмов, теорем и правильные доказательства; точные определения математических объектов и ясные и правильные определения объектов, характеризующихся неформализованными понятиями; при ответе на второй вопрос имеются неточности формулировки алгоритмов, теорем или пробелы в правильных доказательствах; недостаточно точные определения математических объектов или неясные и не совсем правильные определения объектов, характеризующихся неформализованными понятиями;

2) по практической части приведены достоверные результаты исследования и даны подробные пояснения.

Оценка «удовлетворительно»:

1) по теоретическим вопросам – при ответе на оба вопроса имеются неточности формулировки алгоритмов, теорем или пробелы в правильных доказательствах; недостаточно точные определения математических объектов или неясные и не совсем правильные определения объектов, характеризующихся неформализованными понятиями;

2) по практической части допускается, что по одному из вопросов приведены результаты исследования, значительно (более 50%) отличающиеся от теоретических оценок, и студент не может объяснить расхождение.

Оценка «неудовлетворительно»:

отсутствуют удовлетворительные ответы на два или более вопроса экзаменационного билета.

5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература

1. Камкин А.С. Введение в формальные методы верификации программ. – М.:Макс Пресс, 2018. – 272 с.

Дополнительная литература

1. Карпов Ю.Г. Model Checking. Верификация параллельных и распределенных программных систем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010.– 560 с.
2. Кларк Э.М., Грамберг О., Пелед Д. Верификация моделей программ: ModelChecking. – М.:МЦНМО, 2002.– 416 с.
3. Bryant R.E. Graph-based algorithms for boolean function manipulation / IEEE Transactions on Computers, C-35(8), 1986, p. 677-691.
4. Tarian R. Deph-first search and linear graph algorithms / SIAM Journal on Computing, 1(2), 1972, p. 146-169.

Программное обеспечение

1. Для ОС Windos: MinGW – Free Microsoft C Runtime and import library definitions.
2. Для ОС Linux, Unix – штатная система C–компилятора gcc.
3. Xspin – система SPIN с графическим интерфейсом под Tk/Tcl

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Лабораторные работы выполняются, как правило, в компьютерном классе. Отдельные работы могут выполняться в аудитории при наличии у магистрантов портативных компьютеров.

На лабораторных занятиях осуществляется проработка и закрепление методов и инструментария для модельной проверки систем учебного характера. По отдельным темам магистрантам поручается подготовить презентации и выступить с докладами на занятиях.

7. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

7.1 Перечень информационных технологий

- Проверка домашних заданий и консультирование посредством электронной почты.
- Использование электронных презентаций при проведении лекций и практических занятий.

7.2 Перечень необходимого программного обеспечения

Программы для демонстрации и создания презентаций («Microsoft PowerPoint»).

7.3 Перечень информационных справочных систем:

Электронная библиотечная система eLIBRARY.RU (<http://www.elibrary.ru/>)

8. Методические указания по выполнению лабораторных работ

Лабораторные работы выполняются, как правило, в компьютерном классе. Отдельные работы могут выполняться в аудитории при наличии у магистрантов портативных компьютеров.

На лабораторных занятиях осуществляется проработка и закрепление методов и инструментария, соответствующих прорабатываемой теме. По отдельным темам магистрантам поручается подготовить презентации и выступить с докладами на занятиях.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

| № | Вид работ | Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) и оснащенность |
|----|--|--|
| 1. | Лекционные занятия | Лекционная аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) и соответствующим программным обеспечением (ПО) PowerPoint. ауд. 129, 131, А305. |
| 2. | Лабораторные занятия | Лаборатория, укомплектованная специализированными техническими средствами обучения – компьютерный класс, с возможностью подключения к сети «Интернет», программой экранного увеличения и обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета (лаб. 102-106.). |
| 3. | Групповые (индивидуальные) консультации | Аудитория, (кабинет) – компьютерный класс |
| 4. | Текущий контроль, промежуточная аттестация | Аудитория, приспособленная для письменного ответа при промежуточной аттестации. |
| 5. | Самостоятельная работа | Кабинет для самостоятельной работы, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», программой экранного увеличения и обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета. |