**Санкт-Петербургский государственный университет**

**Р А Б О Ч А Я П Р О Г Р А М М А**

**УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Сети Петри и представление параллельных процессов

Petri Nets and Representation of Parallel Processes

**Язык(и) обучения**

русский

Трудоемкость в зачетных единицах: 3

Регистрационный номер рабочей программы: 042868

Санкт-Петербург

2020

**Раздел 1. Характеристики учебных занятий**

**1.1. Цели и задачи учебных занятий**

Освоение обучаемым фундаментальных знаний в области математической теории сетей Петри, математического аппарата теории сетей Петри и принципов его применения к исследованию процессов, к их моделированию и изучению их свойств, в том числе включая математическое моделирование и свойства параллельных процессов, формирование у него навыков использования полученных фундаментальных знаний при исследовании параллельных алгоритмов и процессов и решению задач параллельного программирования.

Поставленные цели достигаются путём решения следующих задач курса: изучение общих понятий теории сетей Петри, ознакомление с примерами сетевых моделей процессов, изучение основного математического аппарата теории сетей Петри и принципов его применения к исследованию параллельных алгоритмов, к математическому моделированию параллельных процессов и к задачам параллельного программирования, заложив тем самым основу для самостоятельной работы в этой области.

**1.2. Требования подготовленности обучающегося к освоению содержания учебных занятий (пререквизиты)**

Знание основных математических дисциплин и основ моделирования в пределах бакалаврской подготовки.

**1.3. Перечень результатов обучения (learning outcomes)**

В процессе изучения дисциплины «Сети Петри и представление параллельных процессов» обучаемые приобретают следующие

***знания***

* основных понятий, законов и подходов к моделированию динамических процессов;
* основных тенденций развития современного естествознания;
* современных методов вычислений;
* построения математических моделей и анализа данных;
* содержания дисциплины «Сети Петри и представление параллельных процессов», в частности, базовых представлений о моделировании процессов, систем, представлений о возможностях применения знаний, излагаемых в разделах курса в различных прикладных областях науки и техники.

***умения***

* использовать основные понятия, законы и подходы к моделированию динамических процессов;
* использовать в научной и познавательной деятельности,  
  а также в социальной сфере профессиональные навыки работы с информационными и компьютерными технологиями;
* критически переосмысливать свой опыт, адаптироваться к различным ситуациям, проявлять творческий подход, инициативу и настойчивость в достижении целей профессиональной деятельности.  
  ***навыки***
* активного применения общенаучных базовых знаний естественных наук, математики и информатики в области прикладной математики и информатики;
* работы с информацией из различных источников, включая сетевые ресурсы сети Интернет, для решения профессиональных задач;
* взаимодействия с коллегами, работы в коллективе.

**1.4. Перечень и объём активных и интерактивных форм учебных занятий**

В качестве основных интерактивных форм (общее количество 10 часов) предполагается проведение практических занятий, на которых обучающиеся будут обсуждать проблемы, связанные с моделированием параллельных процессов.  
Построение курса подразумевает постоянное взаимодействие с обучающимися в рамках полноты освоения материала, заострение внимания на наиболее сложных его разделах, решение учебных задач.

**Раздел 2. Организация, структура и содержание учебных занятий**

**2.1. Организация учебных занятий**

**2.1.1 Основной курс**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Трудоёмкость, объёмы учебной работы и наполняемость групп обучающихся | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Код модуля в составе дисциплины,  практики и т.п. | Контактная работа обучающихся с преподавателем | | | | | | | | | | | | Самостоятельная работа | | | | Объём активных и интерактивных  форм учебных занятий | Трудоемкость |
| лекции | семинары | консультации | практические  занятия | лабораторныеработы | контрольныеработы | коллоквиумы | текущий контроль | промежуточная  аттестация | итоговая аттестация | под руководством преподавателя | в присутствии  преподавателя | сам.раб. с использованием  методических материалов | текущий контроль (сам.раб.) | промежуточная аттестация (сам.раб.) | итоговая аттестация  .) |
| ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Форма обучения: очная | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Семестр 2 | 30 |  | 2 | 15 |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 65 |  | 30 |  | 10 | 4 |
|  | 1-50 |  | 1-50 | 1-50 |  |  |  |  | 1-50 |  |  |  | 1-1 |  | 1-1 |  |  |  |
| ИТОГО | 30 |  | 2 | 15 |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 65 |  | 30 |  |  | 4 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Виды, формы и сроки текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации | | | | | | |
| Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п. | Формы текущего контроля успеваемости | | Виды промежуточной аттестации | | Виды итоговой аттестации  (только для программ итоговой аттестации и дополнительных образовательных программ) | |
| Формы | Сроки | Виды | Сроки | Виды | Сроки |
| ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ | | | | | | |
| Форма обучения - очная | | | | | | |
| Семестр 2 |  |  | экзамен, устно, традиционная форма | по графику промежуточной аттестации |  |  |

**2.2. Структура и содержание учебных занятий**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№ п.п.** | **Наименование темы (раздела, части)** | **Вид учебных занятий** | **Кол-во часов** |
| 1 | Тема 1. Основные понятия о сетях Петри. | лекции | 4 |
| семинары | 0 |
| практические занятия | 0 |
| по методическим материалам | 10 |
| 2 | Тема 2. Основные свойства сетей Петри и их анализ. Понятие о языках сетей Петри | лекции | 6 |
| семинары | 0 |
| практические занятия | 6 |
| по методическим материалам | 11 |
| 3 | Тема 3. Элементарные сетевые системы и ординарные сети. | лекции | 6 |
| семинары | 0 |
| практические занятия | 0 |
| по методическим материалам | 11 |
| 4 | Тема 4. Стохастические и нечеткие сети Петри. | лекции | 6 |
| семинары | 0 |
| практические занятия | 3 |
| по методическим материалам | 11 |
| 5 | Тема 5. Распараллеливание алгоритмов | лекции | 4 |
| семинары | 0 |
| практические занятия | 6 |
| по методическим материалам | 11 |
| 6 | Тема 6. Сетевое представление параллельных процессов | лекции | 4 |
| семинары | 0 |
| практические занятия | 0 |
| по методическим материалам | 11 |
|  | Промежуточная аттестация | самостоятельная работа | 30 |
| консультации | 2 |
| экзамен | 2 |
| **Итого** | | | **144** |

**Тема 1. Основные понятия о сетях Петри.**

Сеть Петри. Определение, формальное задание, граф сети Петри, описание работы сети Петри. Формальное определение функционирования сети Петри, свободный язык сети Петри, граф разметок, теорема о свободных языках сети с различной начальной разметкой. Матрица инциндентности сети, вектор Париха, леммы о достижимой разметке и разбиении последовательности срабатываний ординарной сети.

**Тема 2. Основные свойства сетей Петри и их анализ. Понятие о языках сети Петри.**

Основные свойства сетей Петри, ограниченность, безопасность, живость, устойчивость. Анализ ограниченности сети, теорема о покрывающем дереве. Теорема о разрешимости проблемы ограниченности сети Петри, анализ ограниченности места. Анализ свойств потенциальной живости переходов, безопасности сетей, t-тупиковости разметки, R-включения и R-эквивалентности, достижимости и живости. Помеченные сети и классы языков сетей Петри, соотношения классов языков сетей Петри. Теорема о соотношениях классов языков помеченных сетей.

**Тема 3. Элементарные сетевые системы и ординарные сети Петри.**

Элементарные сетевые системы. Виды эквивалентностей, теорема о «свойстве ромба». Свободные от контактов ЭСС. Преобразование ЭСС в свободную от контактов. Ординарные сети Петри. Живость ОСП, связность и сильная связность ОСП. Преобразование произвольной сети Петри в ординарную, теорема о сохранении свойств сетей. Взаимосвязь ординарных сетей Петри с ЭСС. Теоремы о свободных, префиксных и терминальных языках ординарных сетей Петри. Автоматные сети и их свойства. Синхронизационные графы и их свойства. Свободные сети и их свойства.

**Тема 4. Стохастические и нечеткие сети Петри.**

Стохастические сети Петри. Анализ процессов стохастическими сетями Петри. Нечеткие сети Петри. Нечеткие сети в задачах описания процессов.

**Тема 5. Распараллеливание алгоритмов.**

Постановка задачи. Многопроцессорные системы. Конвейерные вычисления. Параллельная форма алгоритма. Построение графов параллельных форм.

**Тема 6. Сетевое представление параллельных процессов.**

Сетевое представление параллельных процессов, понятие О-сети. Сетевое представление последовательно-альтернативных процессов, S-сети. Сетевое представление параллельно-альтернативных процессов, А-сети. Сетевое представление параллельных процессов с конкуренцией. Алгебраические сети. Развертка сетей Петри в сети–процессы.

**Раздел 3. Обеспечение учебных занятий**

**3.1. Методическое обеспечение**

**3.1.1 Методические указания по освоению дисциплины**

Успешное освоение дисциплины возможно благодаря посещению лекций, участию в обсуждении вопросов, подготовленных к занятию, самостоятельной работе, включающей в себя чтение специальной литературы по разделам темы, монографий, учебников, Интернет-ресурсов, с опорой на которые проводится аудиторная работа.

**3.1.2 Методическое обеспечение самостоятельной работы**

Настоящей программой предусмотрены формы самостоятельной работы с использованием методических материалов.

Самостоятельная работа обучающегося, как вид деятельности, стимулирующий активность, самостоятельность, познавательный интерес с целью поиска необходимой информации, приобретения знаний, использования этих знаний для решения учебных, научных и профессиональных задач, представляет собой важную составляющую часть учебного процесса, которой отводится не менее половины учебного времени при очной форме обучения. Время, отводимое на самостоятельную работу, должно использоваться студентами для наиболее полного освоения учебной дисциплины. Следовательно, организация эффективной внеаудиторной самостоятельной работы в процессе обучения требует, с одной стороны, создание условий, призванных обеспечить рациональное и планомерное управление учебной деятельностью, протекающей в отсутствие преподавателя, и тщательной подготовки целого ряда учебных пособий, снабженных методическими указаниями, с другой стороны.

К числу методических пособий относятся общие методические рекомендации и указания по самостоятельной работе.

Роль преподавателя в организации самостоятельной работы состоит в координации действий обучающихся в освоении дисциплины, в методическом и организационном обеспечении учебного процесса. Взаимодействие между преподавателем и студентами осуществляется в форме консультаций. Преподаватели также оказывают помощь студентам по планированию и организации самостоятельной работы.

**3.1.3 Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерии оценивания**

Аппарат контроля за усвоением материала включает в себя решение задач в течение семестра, экзамен по итогам курса.

*Методика проведения экзамена.*

Экзамен проводится в устной форме. Билет содержит 2 вопроса из списка вопросов к экзамену и одну типовую задачу. На подготовку к ответу в аудитории отводится не менее 1,5 академических часов.

*Пример задачи, предлагаемой на экзамене:*

Задана сеть Петри C = <P, T, F, H, M0>, где P = {p1, p2, p3}, T = {t1, t2, t3},

F(p1,t1) = F(p2,t2) = 1, остальные значения функции F равны 0,

H(t1,p2) = 2, H(t1,p3) = H(t2,p3) = H(t3,p1) = 1, остальные значения функции H равны 0, M0 = (1, 0, 0).

Необходимо построить граф сети, граф разметок, покрывающее и полное покрывающее деревья сети и определить ее основные свойства.

После ответа на вопросы билета и вопросы, возникшие при проверке задачи, преподаватель вправе задать дополнительные вопросы по любой теме из списка вопросов, вынесенных на экзамен. В качестве дополнительных, используются вопросы, не требующие длительного вывода и трудоемких вычислений, в том числе определения, основные теоремы и понятия.

*Критерии выставления оценок за ответ на экзамене.*

Оценка «отлично» выставляется, если выполняются оба условия:

1. обучающимся даны полные исчерпывающие ответы по всем вопросам билета, обучающийся свободно ориентируется в материале;

2. обучающийся отвечает на все дополнительные вопросы.

Таблица соответствия получаемых баллов на оценку «отлично»:

|  |  |
| --- | --- |
| *Баллы* | *Критерии* |
| 90-100 (оценка А) | 1. Полные исчерпывающие ответы по всем вопросам билета, не требующие уточнений преподавателя, включая доказательства утверждений. Свободное владение материалом. Продемонстрировано всестороннее, глубокое и систематическое знание учебного материала. 2. Правильно и полно решена задача. 3. Правильные полные ответы с необходимой степенью детализации на все дополнительные вопросы. Обучающийся продемонстрировал понимание взаимосвязи основных понятий курса. Допускаются неполные ответы не более чем на 10% дополнительных вопросов. |

Оценка «хорошо» выставляется, если выполняются оба условия

1. обучающимся дан полный ответ на один из вопросов билета, по второму вопросу написаны все определения, основные формулы и теоремы (в случае наличия);

2. обучающийся отвечает более чем на 3/4 дополнительных вопросов.

Таблица соответствия получаемых баллов на оценку «хорошо»:

|  |  |
| --- | --- |
| *Баллы* | *Критерии* |
| 80-89 (оценка В) | 1. Полный исчерпывающий ответ хотя бы на один вопрос билета, не требующий уточнений преподавателя, по второму вопросу написаны все определения, формулировки теорем (в случае их наличия), продемонстрировано понимание материала. Такой расклад может перераспределяться по обоим вопросам билета, если это не влечет невозможности сохранить логическую структуру ответа. 2. Правильно решена задача, допускается правильный ответ на вопрос с объяснением, если не был проведен анализ какого-либо свойства сети. 3. Правильные ответы с необходимой степенью детализации более чем на 75% дополнительных вопросов, допускаются несущественные уточнения преподавателя. |
| 70-79 (оценка С) | 1. Полный ответ хотя бы на один вопрос билета, не требующий уточнений преподавателя, по второму вопросу написаны все **основные** определения, формулировки теорем (в случае их наличия), продемонстрировано понимание материала. Такой расклад может перераспределяться по обоим вопросам билета, если это не влечет невозможности сохранить логическую структуру ответа. 2. Правильно решена задача, допускается правильный ответ на вопрос с объяснением, если не был проведен анализ какого-либо свойства сети. 3. Правильные ответы с необходимой степенью детализации более чем на 75% дополнительных вопросов, допускаются несущественные уточнения преподавателя. |

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если выполняются оба условия

1. по обоим вопросам написаны все основные определения, формулы и теоремы (в случае наличия);

2. обучающийся дает правильный ответ более чем на половину заданных дополнительных вопросов.

Таблица соответствия получаемых баллов на оценку «удовлетворительно»:

|  |  |
| --- | --- |
| *Баллы* | *Критерии* |
| 60-69 (оценка D) | 1. По обоим вопросам билета написаны все определения, формулировки теорем (в случае наличия), сохранена логическая структура ответа, продемонстрировано удовлетворительное понимание материала. 2. Правильно решена задача, допускается отсутствие анализа какого-либо свойства сети или неправильный ответ на вопрос об обладании сети данным свойством. 3. Правильные ответы более чем на 50% дополнительных вопросов, допускаются уточнения преподавателя. |
| 50-59 (оценка E) | 1. По обоим вопросам билета написаны все **основные** определения, формулировки теорем (в случае наличия), сохранена логическая структура ответа, продемонстрировано удовлетворительное понимание материала. 2. Правильно решена задача, допускается отсутствие анализа не более двух свойств сети или неправильный ответ на вопрос об обладании сети данными свойством. 3. Правильные ответы более чем на 50% дополнительных вопросов, допускаются уточнения преподавателя. |

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если не выполняются условия для получения оценок «отлично», «хорошо» и «удовлетворительно».

**3.1.4 Методические материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (контрольно-измерительные материалы, оценочные средства)**

Примерный краткий перечень вопросов к экзамену.

1. Сеть Петри. Определение, формальное задание, граф сети Петри, описание работы сети Петри.
2. Формальное определение функционирования сети Петри, свободный язык сети Петри, граф разметок, теорема о свободных языках сети с различной начальной разметкой.
3. Матрица инциндентности сети, вектор Париха, леммы о достижимой разметке и разбиении последовательности срабатываний ординарной сети.
4. Основные свойства сетей Петри, ограниченность, безопасность, живость, устойчивость.
5. Анализ ограниченности сети, теорема о покрывающем дереве.
6. Теорема о разрешимости проблемы ограниченности сети Петри, анализ ограниченности места.
7. Анализ свойств потенциальной живости переходов, безопасности сетей, t-тупиковости разметки, R-включения и R-эквивалентности, достижимости и живости.
8. Помеченные сети и классы языков сетей Петри, соотношения классов языков сетей Петри.
9. Стандартная форма помеченных сетей, приведение обычной сети к сети в стандартной форме, Теорема о соотношениях классов языков помеченных сетей.
10. Элементарные сетевые системы. Виды эквивалентностей, теорема о «свойстве ромба».
11. Свободные от контактов ЭСС. Преобразование ЭСС в свободную от контактов.
12. Ординарные сети Петри. Живость ОСП, связность и сильная связность ОСП.
13. Преобразование произвольной сети Петри в ординарную, теорема о сохранении свойств сетей. Взаимосвязь ординарных сетей Петри с ЭСС.
14. Теоремы о свободных, префиксных и терминальных языках ординарных сетей Петри.
15. Автоматные сети и их свойства.
16. Синхронизационные графы и их свойства.
17. Свободные сети и их свойства.
18. Стохастические сети Петри.
19. Правила изменения маркировки в стохастических сетях Петри.
20. Нечеткие сети Петри.
21. Задачи распараллеливания алгоритмов.
22. Конвейерные вычисления.
23. Параллельная форма алгоритма.
24. Построение графов параллельных форм.
25. Сетевое представление параллельных процессов, понятие О-сети.
26. Сетевое представление последовательно-альтернативных процессов, S-сети.
27. Сетевое представление параллельно-альтернативных процессов, А-сети.
28. Сетевое представление параллельных процессов с конкуренцией.
29. Алгебраические сети.
30. Развертка сетей Петри в сети-процессы.

**3.1.5 Методические материалы для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса**

Для оценки содержания и качества учебного процесса может применяться анкетирование или опрос в соответствии с методикой и графиком, утверждаемым в установленном порядке.

**3.2. Кадровое обеспечение**

**3.2.1 Образование и (или) квалификация штатных преподавателей и иных лиц, допущенных к проведению учебных занятий**

К преподаванию дисциплины могут быть допущены преподаватели, имеющие диплом о высшем образовании по соответствующему направлению и глубокие знания по теории сетей Петри и ее приложениям.

**3.2.2 Обеспечение учебно-вспомогательным и (или) иным персоналом**

Требуется персонал для подготовки иллюстративных материалов с помощью математического обеспечения специализированных прикладных пакетов программ.

**3.3. Материально-техническое обеспечение**

**3.3.1 Характеристики аудиторий (помещений, мест) для проведения занятий**

В аудиториях, где проводятся занятия, необходимо наличие досок и средств письма на них. Кроме того, аудитории должны быть подготовлены к зимним холодам.

**3.3.2 Характеристики аудиторного оборудования, в том числе неспециализированного компьютерного оборудования и программного обеспечения общего пользования**

По желанию преподавателя в аудитории должен быть компьютер и проекционное оборудование.

**3.3.3 Характеристики специализированного оборудования**

По желанию преподавателя для подготовки к некоторым занятиям может потребоваться принтер, чтобы распечатать раздаточные материалы.

**3.3.4 Характеристики специализированного программного обеспечения**

Специальных требований нет.

**3.3.5 Перечень и объёмы требуемых расходных материалов**

Фломастеры цветные, губки, бумага формата А3 (для блокнота-доски), кан-целярские товары в объеме, необходимом для организации и проведения занятий по заявкам преподавателей, подаваемым в установленные сроки, белая бумага формата А4 и запасной картридж для печати на принтере.

**3.4. Информационное обеспечение**

**3.4.1 Список обязательной литературы**

1. И.Г. Бурова, Ю.К. Демьянович, Т.О. Евдокимова, О.Н. Иванцова, И.Д. Мирошни-ченко. Параллельные алгоритмы. Разработка и реализация. Учебное пособие. М., Национальный открытый университет Интуит-Бином. Лаборатория знаний. 2012, 343с.

**3.4.2 Список дополнительной литературы**

1. Федотов И.Е. Некоторые приемы параллельного программирования. М. 2008. 188 с.
2. Котов В.Е. Сети Петри. М., Наука, 1984. 158 c.
3. Петерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. М.: Мир, 1984.
4. Мамиконов Л.Г., Кульба В.В., Демитрович Я. Использование сетей Петри при проектировании систем обработки данных. Л., Наука, 1990.
5. Лескин А.А., Мальцев П.А., Спиридонов А.М. Сети Петри в моделировании и управлении. Л., Наука, 1989. 135 с.
6. Petri C. Introduction of General Net Theory of Procecces and Systems // Lecture Notes in Computer Science. Vol. 84, Berlin, Springer-Verlag, 1980.
7. Berthelot G., Roucaivol G., Valk R. Reduction of Nets and Parallel Programs // Lecture Notes in Computer Science. Vol. 84, Berlin, Springer-Verlag, 1980.
8. Бандман О.Л. Поведенческие свойства сетей Петри // Техническая кибернетика, № 5, 1987. 134-150 с.
9. Кириллов Ю.В. Об автоматной интерпретации сетей Петри // Техническая кибернетика, № 5, 1987. 151-163 с.
10. Мбайтар Ж-Б., Чирков М.К. Абстрактный анализ недетерминированных автоматов и эквивалентных сетей Петри // Математические модели. Теория и приложения. Вып. 7. СПБ.: ВВМ, 2006. С. 94-109.
11. Евстафьева Н.Е., Пономарева А.Ю., Чирков М.К. Синтез и оптимизация недетерминированных автоматов и эквивалентных сетей Петри // Математические модели. Теория и приложения. Вып. 12. СПБ.: ВВМ, 2011. С. 135-149.

**3.4.3 Перечень иных информационных источников**

1. <http://statmod.ru/wiki/>.
2. <http://sibac.info/index.php/2009-07-01-10-21-16/3121-2012-06-19-15-21-42>
3. <http://ftp.botik.ru/rented/psi-ras-20/www/e-version/1-4/02-Lomazova-Vlozhennye-seti-p-337.pdf>
4. <http://rudocs.exdat.com/docs/index-368789.html>

**Раздел 4. Разработчики программы**

Пономарева Александра Юрьевна, доцент мат-мех факультета СПбГУ, a\_ponomareva@mail.ru, тел. 428-41-53.