

ПРИЛОЖЕНИЕ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА»

Кафедра «Радиотехнических устройств»

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«Методы и средства радионавигационных измерений»

Специальность

11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Специализация

«Радионавигационные системы и комплексы»

Уровень подготовки

Специалитет

Квалификация выпускника – инженер

Формы обучения – очная

Рязань 2023г

Оценочные материалы – это совокупность учебно-методических материалов (контрольных заданий, описаний форм и процедур), предназначенных для оценки качества освоения обучающимися данной дисциплины как части основной образовательной программы.

Цель – оценить соответствие знаний, умений и уровня приобретенных компетенций, обучающихся целям и требованиям основной образовательной программы в ходе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации.

Основная задача – обеспечить оценку уровня сформированности общекультурных и профессиональных компетенций, приобретаемых обучающимся в соответствии с этими требованиями.

Контроль знаний проводится в форме текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль успеваемости проводится с целью определения степени усвоения учебного материала, своевременного выявления и устранения недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по совершенствованию методики преподавания учебной дисциплины (модуля), организации работы обучающихся в ходе учебных занятий и оказания им индивидуальной помощи.

К контролю текущей успеваемости относятся проверка знаний, умений и навыков, приобретённых обучающимися на лабораторных работах. При выполнении лабораторных работ применяется система оценки «зачтено – не зачтено». Количество лабораторных работ по каждому модулю определено графиком, утвержденным заведующим кафедрой.

Промежуточный контроль по дисциплине осуществляется проведением зачета (9 семестр) и экзамена (10 семестр). Форма проведения зачета – устный ответ на теоретические вопросы из списка Форма проведения экзамена – устный ответ на теоретические вопросы из билета.

Критерии оценивания компетенций (результатов)

- 1) Уровень усвоения материала, предусмотренного программой.
- 2) Умение анализировать материал, устанавливая причинно-следственные связи.
- 3) Качество ответа на вопросы: полнота, аргументированность, убежденность, логичность.
- 4) Содержательная сторона и качество материалов, приведенных в отчетах студента по лабораторным работам, практическим занятиям.
- 5) Использование дополнительной литературы при подготовке ответов.

Уровень освоения сформированности знаний, умений и навыков по дисциплине оценивается при промежуточной аттестации на зачете по шкале «зачтено-не зачтено», на экзамене по бальной шкале.

Оценка «зачтено» на зачете выставляется студенту, который прочно усвоил предусмотренный программный материал, правильно и аргументировано ответил на вопросы, показал систематизированные знания в теме вопроса.

Оценка «не зачтено» на зачете выставляется студенту, который в ответах на вопросы допустил существенные ошибки, не сумел ответить на дополнительные вопросы, предложенные преподавателем, или не сформулировал аргументированный ответ в грамотной форме.

Оценка «зачтено» по лабораторной работе выставляется студенту, который предоставил полную программу лабораторных исследований в виде отчета с логичными и аргументированными выводами по результатам выполненной лабораторной работы, усвоил материал по теме работы, правильно и аргументировано ответил на вопросы из списка, указанные преподавателем.

Оценка «не зачтено» по лабораторной работе которой в ответах на вопросы допустил существенные ошибки, не сумел ответить на дополнительные вопросы, предложенные преподавателем, или не сформулировал аргументированный ответ в грамотной форме, не предоставил полную программу лабораторных исследований в виде отчета с логичными и аргументированными выводами по результатам выполненной лабораторной работы.

Оценку «Отлично» на экзамене заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «отлично» выставляется студентам, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявившим творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

Оценку «Хорошо» на экзамене заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебно-программного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе. Как правило, оценка «хорошо» выставляется студентам, показавшим систематический характер знаний по дисциплине и способным к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

Оценку «Удовлетворительно» на экзамене заслуживает студент, обнаруживший знания основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «удовлетворительно» выставляется студентам, допустившим погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладающим необходимыми знаниями и давшим законченные и логичные ответы на дополнительные вопросы преподавателя по темам вопросов экзаменационного билета.

Оценка «Неудовлетворительно» на экзамене выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не предоставляют логичные и законченные ответы на вопросы экзаменационного билета, а также дополнительные вопросы преподавателя по темам вопросов экзаменационного билета, что ставит под сомнение способность данных студентов приступить в дальнейшем к профессиональной деятельности по окончании вуза.

Типовые контрольные задания или иные материалы

Вопросы к зачету

1. Определение радионавигации. Радионавигационные параметры, навигационные параметры, навигационные элементы. Вектор состояния и навигационная задача. Методы оценивания вектора состояния. Позиционные методы и радионавигационные ориентиры.
2. Метод наименьших квадратов. Линейный МНК, переопределенная система уравнений и псевдоинверсия. Матрица направляющих косинусов. Расширение до нелинейного МНК, градиентный поиск.
3. Линии положения. Основные изолинии, используемые в радионавигации, и соответствующие методы оценивания вектора состояния. Вид изолиний на малых расстояниях и в глобальном масштабе.

4. Матрицы вращения и преобразования декартовых и сферических координат. Определение координат точки назначения по известным координатам точки отбытия и азимуту (пеленгу). Определение азимута (пеленга) из точки назначения в точку прибытия с известными координатами.
5. Матрицы вращения и преобразования декартовых и сферических координат. Задача построения основных радионавигационных изолиний на сфере.
6. Сущность позиционных методов радионавигационных измерений. Дальномерный, суммарно-дальномерный и разностно-дальномерный методы. Используемые навигационные параметры, вид матриц направляющих косинусов и линий положения.
7. Сущность позиционных методов радионавигационных измерений. Угломерный, дальномерно-угломерный и разностно-угломерный методы. Используемые навигационные параметры, вид матриц направляющих косинусов и линий положения.
8. Радиально-скоростной, разностно-радиально-скоростной и суммарно-радиально-скоростной методы для оценки скорости через доплеровское смещение. Вид матрицы направляющих косинусов и выражения для линейного МНК.
9. Псевдодальность и псевдозадержка. Псевдо-дальномерный метод. Вид матрицы направляющих косинусов, сходство с разностно-дальномерным методом. Необходимое число радионавигационных ориентиров.
10. Псевдоскорость и псевдодоплеровское смещение. Псевдорадиально-скоростной метод. Влияние нестабильности часов ориентиров и объекта на точность оценки.
11. Первичная и вторичная обработка радионавигационных сигналов. Погрешности на этапе первичной обработки. Искажения сигнала при распространении.
12. Первичная и вторичная обработка радионавигационных сигналов. Погрешности на этапе вторичной обработки. Геометрический фактор, сильная и слабая геометрия.
13. Модели случайных процессов, используемые в радионавигации. Риск, функция потерь, оптимальные решения.
14. Модели радиосигналов, используемых в радионавигации. Диапазоны частот, отведенные для нужд радионавигации по Регламенту радиосвязи МСЭ.
15. Методы определения дальности в радионавигации. Устранение неоднозначности.
16. Методы определения угловых параметров в радионавигации.
17. Обнаружение радионавигационных сигналов. Ошибки I и II рода. Отношение правдоподобия. Критерий Неймана-Пирсона. Критерий минимума среднего риска. Критерий идеального наблюдателя.
18. Оценивание параметров радионавигационных сигналов. Оценки максимального правдоподобия. Оценка амплитуды и частоты радиоимпульса. Неравенство Рао-Крамера.
19. Дальность действия и рабочие зоны в радионавигации. Уравнение дальности. Энергетический бюджет линии связи.
20. Линейный фильтр Калмана: этап предсказания, этап уточнения. Связь с методом наименьших квадратов. Расширенный фильтр Калмана.

Вопросы к экзамену

1. Обобщенная структура инерциальных систем радионавигации. Основные средства измерения в инерциальных системах, измеряемые ими величины и их применение при вычислении оценки ориентации объекта.
2. Устройство и принцип действия МЭМС датчиков: акселерометра, измерителя угловой скорости, магнитометра.
3. Описание ориентации объекта с помощью углов Эйлера-Крылова. «Складывание рамок». Связь показаний измерителя угловой скорости с углами Эйлера-Крылова.
4. Описание ориентации объекта с помощью кватернионов. Операции с кватернионами. Связь кватернионов с углами Эйлера-Крылова.

5. Описание ориентации объекта с помощью кватернионов. Параметры Родрига-Гамильтона. Связь показаний измерителя угловой скорости с ориентирующим кватернионом.
6. Выставка начальной ориентации объекта по показаниям акселерометра и магнитометра с использованием углов Эйлера-Крылова и кватернионов.
7. Математическая модель ошибок трехосного акселерометра.
8. Математическая модель ошибок трехосного гироскопа.
9. Математическая модель ошибок трехосного магнитометра. Магнитное склонение и наклонение.
10. Простая калибровка трехосного акселерометра. Переопределенная система уравнений и МНК.
11. Простая калибровка трехосного гироскопа. Переопределенная система уравнений и МНК.
12. Простая калибровка трехосного магнитометра. Переопределенная система уравнений и МНК.
13. Борьба с шумами МЭМС датчика. Интегрирование, интерполяция и первичная фильтрация данных. Дисперсия Аллана.
14. Комплексование данных МЭМС датчика. Использование фильтра Калмана для объединения данных акселерометра, гироскопа и магнитометра.
15. Комплексование данных МЭМС датчика. Использование фильтров Маджвика и Махони для объединения данных акселерометра, гироскопа и магнитометра.
16. Устройство и принцип работы механических и пьезокерамических акселерометров. Погрешности.
17. Устройство и принцип работы механических, магнитогидродинамических, резонаторных гироскопов. Погрешности.
18. Устройство и принцип работы лазерных, оптоволоконных, квантовых гироскопов. Погрешности.
19. Представление данных с датчиков в цифровой форме. Прямой и дополнительный код. Влияние шумов квантования и джиттера на погрешности.
20. Комплексование данных в астроинерциальных и инерциально-спутниковых системах. Фильтр Калмана.
21. Виды, устройство и принцип работы стандартов частоты и времени.
22. Виды, устройство и принцип работы стандартов угла и угловой скорости.
23. Метрологическое обеспечение средств радионавигационных измерений.
24. Документальное сопровождение радионавигационных систем.

Перечень практических занятий и вопросов для контроля

| № п/п | Наименование лабораторной работы |
|------------------|---|
| 1 | Исследование дальномерного позиционного метода, ч.1 |
| 2 | Исследование дальномерного позиционного метода, ч.2 |
| 3 | Исследование погрешности оценки навигационных параметров, ч.1 |
| 4 | Исследование погрешности оценки навигационных параметров, ч.2 |
| 5 | Исследование и сравнение различных позиционных методов, ч.1 |
| 6 | Исследование и сравнение различных позиционных методов, ч.2 |
| 7 | Исследование калмановской фильтрации в радионавигации, ч.1 |
| 8 | Исследование калмановской фильтрации в радионавигации, ч.2 |

| № работы | Название занятия и вопросы для контроля | Шифр |
|----------|--|------|
| 1 | <p>Исследование дальномерного позиционного метода</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Суть дальномерного позиционного метода определения координат объекта. Оценка дальности по прямому и переотраженному сигналу. Линии и поверхности положения. 2. Псевдодальномерный метод. Определение и геометрическая интерпретация псевдодальности. 3. Применение метода наименьших квадратов при оценке координат дальномерным методом. Линейный МНК. 4. Применение метода наименьших квадратов при оценке координат дальномерным методом. Нелинейный МНК. 5. Минимально необходимое число станций в двумерном и трехмерном дальномерном и псевдодальномерном методах для однозначной оценки координат. Алгебраическое (с точки зрения МНК) и геометрическое (с точки зрения линий положения) объяснение. 6. Алгоритм градиентного поиска при нелинейном МНК. Влияние начальных координат и условия останова на точность оценки координат. 7. Влияние нестабильности бортовых часов объекта, ее связь с псевдодальностью и точностью оценки. 8. Влияние нестабильности часов радионавигационных станций, связь с псевдодальностью и точностью оценки. | 5291 |
| 2 | <p>Исследование погрешности оценки навигационных параметров</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Смысл и математическое вычисление фактора размытия точности (PDOP). Влияние на СКО оценки координат. Фактор размытия псевдозадержки (TDOP) в режиме псевдодальности. 2. Негеометрические источники погрешностей в радионавигационных системах. Погрешности первичной и вторичной обработки. 3. Негеометрические источники погрешностей в радионавигационных системах. Влияние условий распространения радиоволн и гравитации (в спутниковых РНС). 4. Топология радионавигационных ориентиров с нормальной и слабой геометрией. Связь топологии, фактора PDOP и точности оценки координат. 5. Влияние числа радионавигационных ориентиров на точность оценки координат. Минимально приемлемое число станций при оценке в режиме дальности и псевдодальности в двумерном и трехмерном случае, математическое объяснение. 6. Радиально-скоростной метод определения вектора скорости. Формула МНК-оценки. Радиальная скорость и доплеровский сдвиг. 7. Влияние нестабильности опорных генераторов станций и объекта на оценку скорости. Требования к стабильности. Псевдоскорость – определение и формула. 8. Радиально-псевдоскоростной метод. Суть и аналогия с псевдодальномерным методом. | 5291 |

| | | |
|---|---|------|
| 3 | <p>Исследование и сравнение различных позиционных методов</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Разностно-дальномерный и суммарно-дальномерный методы. Сходство и различие. Линии положения на ближней дистанции и в глобальном масштабе. 2. Угломерный метод на объекте и на станциях. Сходство и различие. Линии положения на ближней дистанции и в глобальном масштабе. 3. Обоснуйте целесообразность применения режима «псевдо» в дальномерном, разностно- и суммарно-дальномерном методах, угломерном методе на объекте и на станциях, разностно-угломерном методе. 4. Обоснуйте минимальное количество радионавигационных ориентиров, необходимое для однозначной оценки координат на поверхности, в дальномерном, разностно- и суммарно-дальномерном методах, угломерном методе на объекте и на станциях, дальномерно-угломерном, разностно-угломерном методе. 5. Приведите сравнение точности характеристик дальномерного, псевдодальномерного, разностно-дальномерного метода и суммарно-дальномерного методов. 6. Приведите сравнение точности характеристик угломерного, псевдоугломерного, разностно-угломерного метода и дальномерно-угломерного методов. 7. Приведите сравнение точности радиально-скоростного, псевдорадiallyно-скоростного, угломерного метода оценки вектора скорости объекта. 8. Приведите сравнение зон действия в дальномерном, разностно- и суммарно-дальномерном методах, угломерном методе на объекте и на станциях, дальномерно-угломерном, разностно-угломерном методе, при одинаковой геометрии и дальнодействии радионавигационных ориентиров. | 5291 |
| 4 | <p>Исследование калмановской фильтрации в радионавигации</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Линейный фильтр Калмана. Источники и характер информации. Этапы предсказания и коррекции. 2. Линейный фильтр Калмана. Матрицы эволюции и управления. Ковариационная матрица ошибок для предсказания неопределенности. Учет влияния окружающей среды. 3. Линейный фильтр Калмана. Матрица наблюдений, шумы. Пересчет прогноза в систему координат датчиков и вычисление невязки. Усиление Калмана. 4. Расширенный фильтр Калмана. Линеаризация передаточных функций для получения передаточных матриц неопределенности. 5. Беззапаховый и частичный фильтры. 6. Приведите сравнение устойчивости и вычислительной сложности линейного, расширенного и беззапахового фильтров при работе на плоской и сферической поверхностях. 7. Какова связь ковариационной матрицы наблюдений и позиционного геометрического фактора? 8. Исходя из каких критериев выбираются начальные условия для работы Фильтра Калмана: координаты и матрица неопределенности? | 5291 |

Перечень лабораторных работ и вопросов для контроля

| № п/п | Наименование лабораторной работы |
|----------|--|
| 1 | МЭМС датчик ADIS16407. Работа с регистрами на низком уровне |
| 2 | МЭМС датчик ADIS16407. Программная интерпретация показаний |
| 3 | МЭМС датчик ADIS16407. Интегрирование, расчет ориентации связанной системы координат, выставка |
| 4 | МЭМС датчик ADIS16407. Калибровка, исследование шумов и фильтрации |

| № работы | Название занятия и вопросы для контроля | Шифр |
|-------------|--|------|
| 1 | <p>МЭМС датчик ADIS16407. Работа с регистрами на низком уровне</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Основные характеристики датчика: структура, виды выходной информации, чувствительность, динамический диапазон, частота обновления данных. 2. Временная диаграмма работы. CS, синхронизация, содержание старшего и младшего байт двухбайтового слова в режиме записи и чтения. 3. Подключение через SPI интерфейс к ведущему устройству. Используемые выводы. Примеры осциллограмм. 4. Перечень основных опрашиваемых регистров датчика. 5. Чтение данных из конкретного регистра. Флаг новых данных, флаг ошибки. Чтение статуса регистра состояния. 6. Двухбайтовая структура регистров. Обращение к старшему и младшему байтам. Пакетное чтение из 14 регистров (burst mode). 7. Чтение по прерыванию. Использование выводов общего назначения (DIO). 8. Виды регистров: R,W,R/W. Первый бит адреса как флаг записи-чтения, адрес регистра в режиме записи и чтения. Раздельная запись в старший и младший байт регистра. | |
| 2 | <p>МЭМС датчик ADIS16407. Программная интерпретация показаний</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Биты значений, преобразование из дополнительного формата по необходимости, преобразование в непосредственное значение параметра (на примере регистров питания и температуры). 2. Биты значений, преобразование из дополнительного формата по необходимости, преобразование в непосредственное значение параметра (на примере регистров угловой скорости и ускорения по оси z). 3. Частота обновления данных и прореживание с усреднением. Установка коэффициента децимации и ширины окна усредняющего фильтра Бартлетта. 4. Установка динамического диапазона гироскопа. 5. Флаг ошибки и регистр самодиагностики. Самотестирование. 6. Диапазон допустимых значений акселерометра. 7. Диапазон допустимых значений гироскопа. 8. Диапазон допустимых значений магнитометра. | |

| | | |
|---|---|--|
| 3 | <p>МЭМС датчик ADIS16407. Интегрирование, расчет ориентации связанной системы координат, выставка</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Расчет углов Эйлера-Крылова без предварительной выставки (начальное положение «ось X на север»). Кинематические уравнения. 2. Эффект «Складывания рамок». 3. Расчет кватерниона вращения без предварительной выставки (начальное положение «ось X на север»). Кинематические уравнения. 4. Расчет кватерниона по углам Эйлера-Крылова. Особые точки. 5. Расчет углов Эйлера-Крылова по кватерниону. 6. Параметры Родрига-Гамильтона. 7. Обобщенный алгоритм работы БИНС. Алгоритмы интегрирования показаний гироскопа и акселерометра. 8. Выставка начального положения по показаниям акселерометра и магнитометра с использованием углов Эйлера-Крылова и кватерниона. | |
| 4 | <p>МЭМС датчик ADIS16407. Калибровка, исследование шумов и фильтрации</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Получение статистики шумов акселерометра и гироскопа. 2. Эффекты магнитного возмущения («soft iron», «hard iron»).. 3. Эффект «набега» ошибки. 4. Измерение дисперсии Аллана. 5. Программная калибровка гироскопа, акселерометра, магнитометра. 6. Аппаратная калибровка датчика путем записи корректирующих коэффициентов в регистры (на примере gyroscope bias, soft iron correction). 7. Возможность экспорта данных корректирующих регистров в память flash датчика и откат к заводским установкам. 8. Использование фильтра Калмана для совмещения показаний MARG (Fusion). | |