МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный технический университет» (ТвГТУ)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой Радиотехнические информационные системы
_____ Боев С.Ф.
«__» _____ 20___ г.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА

промежуточной аттестации: экзамен
«Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенн»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Типы задач профессиональной деятельности: проектный, научно-исследовательский.

Разработаны в соответствие с рабочей программой дисциплины, утвержденной проректором по УР Майковой Э.Ю. «21» мая 2020 г.,

Разработчик: к.т.н., доцент, профессор каф. РИС__ В.К. Кемайкин

Тверь, 20

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенн»
Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_1

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Селекция движущихся целей в РСА. Типы задач СДЦ. Методы СДЦ.

Правильный ответ:

Селекция движущихся целей в радиолокаторе с синтезированной апертурой антенны (РСА) — это задача, которая основана на различии скорости относительного движения по отношению к летательному аппарату неподвижных и движущихся объектов.

В режиме селекции движущихся целей можно выделить следующие задачи:

1. Обнаружение только движущихся объектов при подавлении сигналов от всех других объектов и фона местности.
2. Обнаружение только движущихся объектов с измерением их координат (дальность-азимут) и радиальных скоростей.
3. Обнаружение только движущихся объектов с измерением их координат и векторов скорости (радиальной и тангенциальной составляющей).
4. Обнаружение одновременно движущихся и неподвижных объектов с измерением их координат и векторов скорости с индикацией на фоне радиолокационного изображения земной поверхности.

Основные методы селекции движущихся целей (СДЦ) в зависимости от вида зондирующего сигнала и метода сравнения параметров отражённого сигнала с параметрами опорного:

1. Когерентный метод непрерывного излучения. На вход приёмного устройства поступают зондирующий сигнал и отражённый сигнал. Напряжение, зависящее от разности фаз зондирующего и отражённого сигналов, получают с помощью амплитудного или фазового детекторов.
2. Когерентно-импульсный метод. Сравниваются фазы отражённых импульсных сигналов и специального опорного. В зависимости от способа

создания опорного напряжения когерентно-импульсные РЛС могут быть как с внутренней, так и с внешней когерентностью. В РЛС с внутренней когерентностью опорное напряжение вырабатывается специальным генератором, колебания которого жёстко связаны с высокочастотными колебаниями передатчика. В системах СДЦ с внешней когерентностью в качестве опорного напряжения используются сигналы, отражённые от неподвижных объектов, находящихся на таком же расстоянии от РЛС, что и подвижная цель.

3. Компенсационный метод. Заключается в вычитании задержанных на время, кратное периоду повторения импульсов или периоду вращения антенны, и незадержанных отражённых сигналов (метод чересперио́дного вычитания). Так как амплитуды импульсов от неподвижных целей не меняются, а от движущихся меняются от периода к периоду, то на выходе схемы вычитания останутся нескомпенсированными импульсы сигналов от движущихся целей.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Обосновать преимущества РСА перед обычными РЛ и оптическими системами.

Правильный ответ:

Преимущества радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) перед обычными радиолокационными и оптическими системами:

- Всепогодное и круглосуточное наблюдение. Съёмку можно проводить независимо от метеорологических условий, времени суток и освещённости.
- Высокая точность измерения координат и геометрических характеристик объектов. Появляется возможность трёхмерного портретирования объектов и построения цифровых карт рельефа местности.
- Возможность наблюдения и обнаружения объектов, невидимых в оптическом или инфракрасном диапазонах электромагнитного спектра, скрытых снежным или растительным покровом, а также находящихся под поверхностью Земли.
- Получение высокодетальных изображений объектов на Земле с пространственным разрешением менее 1 метра. Качество получаемых РСА изображений приближается к качеству оптических снимков.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:
Найдите максимальное и минимальное значения фазового сдвига траекторного сигнала на участке синтезирования апертуры L, если РЛС с НФСА имеет длину волны λ = 0,03 м, антенну с апертурой la=2,5м и перемещается со скоростью v=150м/с. Дальность до цели R0=70 км

Правильный ответ:

Для нахождения фазового сдвига необходимо использовать формулу:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta R,$$

где $\Delta R = l_a \cdot \frac{R_0}{R_0 + L}$ – разность в расстоянии до цели для разных точек антенны.

Максимальное значение фазового сдвига будет достигнуто при максимальной расстояний:

$$\Delta\varphi_{max} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot l_a = \frac{2\pi}{0{,}03} \cdot 2{,}5 = 523{,}6$$

Минимальное значение будет соответственно:

$$\Delta\varphi_{min} = 0$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенн»
Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_2

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Помехоустойчивость в РСА. Виды преднамеренных помех. Влияние шумовой помехи на дальность действия.

Правильный ответ:

Помехоустойчивость радиолокационной станции с синтезированной апертурой антенны (РСА) — это способность системы противостоять воздействию помех.

Основная цель постановки активной помехи в РСА — снизить отношение сигнал/шум получаемого радиолокационного изображения (РЛИ) до значений, при которых его интерпретация будет невозможной.

Методика оценки помехоустойчивости РСА включает следующие этапы:

1. Задание и уточнение исходных технических характеристик РСА.
2. Задание значения эффективной отражающей поверхности (ЭОП) и геометрических размеров цели, а также значения удельной ЭОП окружающей её земной поверхности.
3. Расчёт средних значений отношений сигнал/шум и помеха/шум в пределах одного элемента разрешения РЛИ и определение средней дифференциальной контрастности цели для заданных условий наблюдения.
4. Задание условной вероятности ложных тревог при анализе РЛИ и определение порогов обнаружения цели.
5. Расчёт условной вероятности правильного обнаружения цели на фоне земной поверхности по РЛИ для заданной спектральной мощности активной шумовой помехи.

Обобщённый показатель помехоустойчивости РСА к имитирующим помехам, формируемым на основе оценок частотно-временных параметров

зондирующих сигналов, определяет степень соответствия имитируемой и реальной отметок точечных объектов на РЛИ.

Некоторые виды преднамеренных помех:

- Маскирующая. Создаёт на входе приёмника фон, протяжённый по времени и по частоте, затрудняющий обнаружение сигналов и измерение их информативных параметров.
- Дезинформирующая. При её воздействии система остаётся работоспособной, но не обеспечивает передачи полезной информации.
- Искажающая. Действует в том элементе разрешения по временной задержке и частоте, где присутствует истинный сигнал.
- Ослепляющая. Это узкополосное излучение на частоте сигнала, мощность которого на входе приёмника достаточна для перегрузки приёмника.
- Заградительная. Её общая полоса спектра много шире полосы спектра информационного сигнала.
- Прицельная. В этом случае спектр помехи в основном совпадает со спектром информационного сигнала

Влияние шумовой помехи на дальность действия заключается в маскировке полезных сигналов в некотором телесном угле и соответствующем интервале дальностей.

Это достигается наложением случайного процесса (шума) на сигнал, который смешивается с помехой, и поэтому его сложно выделить. При этом полезный сигнал частично изменяет или теряет характерные для него признаки.

Вследствие этого существенно ухудшается разрешающая способность радиоэлектронных средств (РЭС) и снижается точность определения координат целей.

Также при достаточно большом динамическом диапазоне приёмника шумовые колебания создают эффект, аналогичный резкому увеличению внутреннего шума, что затрудняет обнаружение и измерение параметров радиолокационного сигнала при больших дальностях до цели.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Определить возможности обнаружения целей с отрицательным контрастом.

Правильный ответ:

Возможности обнаружения целей с отрицательным контрастом зависят от конкретных условий и задач.

В радиолокации задача обнаружения пространственно распределённой цели с отрицательным контрастом (например, просеки в лесу, ВПП, речки с пологими берегами) сводится к различению двух сигналов, отличающихся средней мощностью. Наиболее сложной считается задача обнаружения протяжённой цели с меньшей, чем у окружающего фона, удельной эффективной площадью рассеяния, когда цель занимает всего несколько элементов разрешения по одной из координат («провал»).

Дальность обнаружения цели с отрицательным контрастом определяется условием, при котором можно пренебречь влиянием шумов на величину контраста изображения.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:
Проектируемая бортовая РЛС, работающая на волны λ=0,03м должна обеспечивать тангенциальную разрешающую способность δl= 3 м при дальности цели R0 = 50 км и разрешающей способности по дальности δR = 50 м . Диапазон измеряемых дальностей от 20до 75 км. Скорость самолета-носителя РЛС v= 250 м/с.
Определите тип синтезируемой апертуры, объем памяти $v_п$ и время запоминания tз системы цифровой обработки сигнала, если динамический диапазон этой системы *d=120 дБ*

Правильный ответ:

Тангенциальная разрешающая способность определяется как:

$$\delta l = \frac{\lambda R_0}{D}$$

$$D = \frac{0{,}03 \cdot 50000}{3} = 500 \text{ м}$$

Это большой диаметр, что указывает на использование синтезируемой апертуры.

Объём памяти для системы цифровой обработки сигнала можно определить как:

$$V_p = \frac{d}{10 \cdot log_{10}(2)} \cdot \delta R \cdot T,$$

где $T = \frac{2R_0}{V}$ – длительность импульса.

$$V_p = \frac{120}{10 \cdot log_{10}(2)} \cdot 50000 \cdot \frac{2 \cdot 50000}{250} = 800 \text{ Мбит.}$$

Время запоминания определяется как:

$$t_з = \frac{V_p}{R},$$

где R - скорость передачи данных, например, 100Мбит/с

$$t_з = \frac{800}{100} = 8 \text{ с.}$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенн»
Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_3

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Помехозащищенность, пути достижения помехозащищенности. Скрытность работы, способы повышения скрытности.

Правильный ответ:

Помехозащищённость — это способность системы связи противостоять негативному воздействию помех.

Пути достижения помехозащищённости:

- Увеличение отношения сигнал/помеха благодаря увеличению мощности передатчика. Однако в некоторых случаях этот метод может быть экономически невыгоден, так как связан с ростом стоимости и сложности оборудования.
- Рациональный выбор вида модуляции сигналов. Используя виды модуляции, которые обеспечивают существенное расширение полосы частот полезного сигнала, можно добиться увеличения его помехозащищённости.
- Использование специальных помехоустойчивых кодов. Первый вариант заключается в выборе таких способов передачи, которые обеспечивают минимальную вероятность искажения кода. Второй — в увеличении корректирующих свойств комбинаций кодов. Для этого в код вводятся избыточные, дополнительные импульсы, что способствует увеличению времени передачи или частоты передачи символов кода.
- Повторная передача одного и того же сообщения. На приёмной стороне сравниваются полученные сообщения, и в качестве истинного принимается то, которое имеет самое большое число совпадений.
- Использование сигналов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ) и применение оптимальных и квазиоптимальных алгоритмов обработки таких сигналов.

Скрытность работы — это способность радиоэлектронной системы противостоять разведке противником её сигналов.

Способы повышения скрытности:

- Частотная скрытность. Обеспечивается перестройкой приёмных и передающих систем в процессе их работы или частотной маскировкой излучаемых радиосигналов.
- Структурная скрытность. Обеспечивается использованием сигналов, сложная структура которых затрудняет их разведку злоумышленником. В качестве таких сигналов могут использоваться псевдослучайные последовательности большой длительности, сигналы со сложной модуляцией и т.п..
- Временной метод. Скрытность обеспечивается за счёт сокращения времени излучения сигналов или увеличения интервала (периода) между излучениями.
- Энергетический метод. Предполагает выбор такой мощности излучения передатчика и такого спектра излучения, при которых мощность сигнала на входе разведывательного приёмника была бы меньше его реальной чувствительности.
- Пространственная скрытность. Определяется характеристиками направленности антенных систем передатчика. Обеспечивается сужением диаграмм направленности передающих антенн, снижением уровня их боковых лепестков. Помимо этого при работе передающих систем учитывается предполагаемое местонахождение разведывательных приёмников и исключается по возможности излучение в их направлении.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Обосновать принципы селекции движущихся целей

Правильный ответ:

Принципы селекции движущихся целей (СДЦ) основаны на различиях между сигналами, отражёнными от объектов с разными радиальными составляющими скорости.

Для сигналов непрерывного излучения частотный сдвиг принятых сигналов однозначно определяется радиальной скоростью объекта, поэтому при СДЦ применяют режектирование по частоте мешающих сигналов неподвижных объектов.

Для сигналов когерентно-импульсного излучения используют доплеровский эффект от импульса к импульсу, заключающийся в изменении фазы высокочастотного заполнения импульсов. Это даёт возможность применять компенсационные методы чересперiодного подавления мешающих сигналов от неподвижных объектов, так как в этих сигналах сохраняется достаточное постоянство параметров высокочастотного заполнения импульсов. Поэтому на выходе вычитающего устройства получают сигналы движущихся объектов и компенсируют сигналы неподвижных объектов.

Также для межобзорной селекции движущихся целей используют карту помех, которая учитывает пространственное распределение принятого сигнала: для этого пространство радиолокационного наблюдения разбивают на ячейки, в пределах которых подсчитывают число отметок, попавших в неё за фиксированное число обзоров, и по критериям обнаруживают помехи. Отметки движущихся целей попадают в разные ячейки от обзора к обзору, и селекция заключается в присваивании отметке класса — помеха, если она попала в ячейку с решением об обнаружении помех, и цель в противном случае.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Бортовая импульсная РЛС с «фокусированной» СА имеет на волне λ = 0,03 м дальность действия R= 150 км . Какая должна быть длина синтезированной апертуры , чтобы на дальности R0 = 100 км тангенциальная разрешающая способность составила δl=60м?

Правильный ответ:

Тангенциальная разрешающая способность определяется физическими размерами антенного полотна:

$$\delta l = \frac{\lambda R}{d}$$

где, δl − тангенсальная разрешающая способность; λ − длина волны; R − дальность дыействия РЛС; d − длина апертуры.

Откуда: $d = \frac{\lambda R}{\delta l} = \frac{0{,}03 \cdot 100 \cdot 10^3}{60} = 50$м.

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенн»
Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_4

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Дешифрование РЛИ в РСА. Объекты радиолокационной разведки и их опознавательные признаки (портреты).

Правильный ответ:

Дешифрирование радиолокационных изображений (РЛИ) в радиолокационных системах с синтезированной апертурой (РСА) — это обнаружение и распознавание объектов радиолокационной съёмки.

Процедура автоматического обнаружения объектов включает в себя когерентное накопление (синтез первичного РЛИ), некогерентное накопление (фильтрацию РЛИ) и пороговую обработку с использованием плавающего адаптивного порога, учитывающего изменения локальных уровней отражения от фона местности.

Приоритетным остаётся визуальное дешифрирование РЛИ с использованием поддержки средствами и процедурами автоматизации. Это обусловлено сложностью характера наблюдаемой поверхности, разнообразием объектов, требующих выявления и классификации по данным радиолокационной съёмки.

Для адаптации данных для представления оператору проводится фильтрация, предобработка и преобразование динамического диапазона.

Опознавательные признаки объектов радиолокационной разведки:

- Радиолокационные станции. Распознаются по внешнему виду, наличию на небольшом участке местности компактно расположенных агрегатов комплекса станции и характерному звуку работы её агрегата питания.
- Радиолокационные станции разведки наземных движущихся целей. Располагаются, как правило, на скатах высот, обращённых в сторону своих войск. Обнаруживаются по выступающему над бруствером окопа (траншеи)

блоку приёмопередатчика, который может располагаться на удалении 10–20 м от местонахождения самой станции и её расчёта.

Также к опознавательным признакам объектов радиолокационной разведки относятся особенности распознавания земной и водной поверхности, а также особенности радиолокационного изображения.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Определить меры уменьшения спетр-шума в РЛИ РСА.

Правильный ответ:

Меры для уменьшения спектр-шума в РЛИ РСА:

- Неадаптивная фильтрация. Заключается в дополнительном усреднении соседних отсчётов сигнала РЛИ. Вместо усреднения могут применяться другие сглаживающие фильтры (например, медианный).
- Адаптивная фильтрация. Выполняется в зависимости от оценки уровня спекл-шума (фильтры Ли, Фроста, гамма-фильтр и др.). В результате на РЛИ сохраняются резкие границы и точечные объекты, а деградация пространственного разрешения наблюдается только для площадных объектов.
- Метод «обратного синтеза». Заключается в выявлении и исключении из результирующего изображения элементов-пикселов, поражённых спекл-шумом. Исключённые пикселы замещаются усреднёнными по ближайшим соседним. Исходная разрешающая способность изображения сохраняется.
- Совместная обработка сигналов, полученных в разных ракурсах. Позволяет повысить детальность РЛИ по дальности и (или) по азимуту, а также подавить когерентный спектр-шум.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:
Рассчитать фазовые сдвиги φ_i для граничных точек СА с $i = \pm L_{эф}/(2\Delta)$ для РЛС с НФСА, если РЛС обеспечивает на дальности R_0=45 км тангенциальную разрешающую способность δl=30 м. РЛС имеет дальность действия $R_{\max}$=75 км, установлена носителе скорость которого 360 км/ч. Разрешающая способность по дальности 15 м

Правильный ответ:

Для нахождения фазового сдвига необходимо использовать формулу:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi R}{\lambda}$$

Для нахождения λ используем формулу:

$$\delta r = \frac{\text{c}}{2\Delta f}$$

$$\Delta f = \frac{c}{2\delta r} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 15} = 10\text{МГц}$$

$$\text{Откуда } \lambda = \frac{\text{c}}{\Delta f} = \frac{3 \cdot 10^8}{10^7} = 30 \text{ м.}$$

Фазовые сдвиги в крайних точках:

$$\Delta\varphi\text{мин} = \frac{2\pi \cdot 75000}{30} = 15700 \text{ рад.}$$

$$\Delta\varphi\text{макс} = 0$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенн»
Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_5

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Алгоритмы автофокусировки изображения в РСА.

Правильный ответ:

Алгоритмы автофокусировки изображения в радиолокаторах с синтезированной апертурой (РСА) можно поделить на две группы:

1. Алгоритмы параметрической автофокусировки. Используются, если возможно построить достаточно простую параметрическую модель опорной функции РСА. При этом задачей фокусировки является нахождение (подстройка) оптимальных параметров автофокусировки.
2. Алгоритмы непараметрической автофокусировки. Используются, когда невозможно построить параметрическую модель опорной функции (например, при сильных флуктуациях фазы). В этом случае задача автофокусировки ставится как задача определения непосредственно отсчётов опорной функции.

Алгоритмы автофокусировки:

- Фазовая градиентная автофокусировка. Основная идея алгоритма заключается в анализе фазовой структуры в окрестности ярких точечных целей РЛИ. Реализация алгоритма представляет собой итеративный процесс: изображение фокусируется с расчётными параметрами фокусировки (начальное приближение), затем вычисляется градиент (изменение) фазы по времени, значение которого определяется ошибками в начальном приближении. Найденное значение градиента учитывают как поправку к параметрам фокусировки. Затем процедура повторяется.
- Алгоритм автофокусировки радиолокационного изображения на основе оценки средней доплеровской частоты. Использует траекторный сигнал от всех объектов и фона местности в диаграмме направленности антенны. Изменение средней доплеровской частоты приводит к смещению выходного

сигнала изображения, которое оценивается по сдвигу максимума спектра траекторного сигнала.

- Универсальный алгоритм автофокусировки, основанный на ММ-методе оптимизации. Позволяет оценить фазовые ошибки, вызванные случайными траекторными нестабильностями полёта носителя РСА, посредством оптимизации квадратичных суррогатных функций качества РЛИ.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Провести анализ системы СДЦ в системе с остановленным ФЦ

Правильный ответ:

Анализ системы селекции движущихся целей (СДЦ) с остановленным фазовым центром включает изучение её структуры и принципов работы.

В системе СДЦ с остановленным фазовым центром используется интерферометр с разнесёнными антеннами либо приёмная антенна с фазовыми центрами, которые разнесены вдоль линии пути носителя РСА.

Для подавления сигналов от неподвижных целей и фона при использовании метода СДЦ с остановленным фазовым центром необходимы:

- компенсация радиального движения космического аппарата РСА;
- задержка сигнала первого по ходу движения приёмного канала для обеспечения синфазности сигналов, отражённых от неподвижных целей;
- вычитание выходных сигналов приёмных каналов с последующим когерентным накоплением сигнала цели на фоне шума приёмника.

Эффективность селекции движущихся объектов определяется величиной радиальной скорости объектов и скоростью носителя, разносом фазовых центров и стабильностью сигналов неподвижных объектов и фона. Чем больше разнос фазовых центров антенны и меньше скорость носителя, тем выше эффективность селекции.

При анализе системы СДЦ с остановленным фазовым центром также исследуют её статистические характеристики. Например, получают зависимости среднеквадратического отклонения оценки радиальной скорости цели для различных значений отношения сигнал-шум на входе системы. Эти зависимости позволяют оценить потенциальные возможности системы СДЦ и предъявить требования к её параметрам и характеристикам.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:
Рассчитать разность хода сигналов ΔR_i для РЛС с НФСА, если РЛС обеспечивает на дальности R_0=45 км тангенциальную разрешающую способность δl=30 м. РЛС имеет дальность действия $R_{\max}$=75 км, установлена носителе скорость которого 360 км/ч. Разрешающая способность по дальности 15 м

Правильный ответ:

Разность хода сигналов между двумя точками можно рассчитать, учитывая разрешающую способность по дальности. Разность хода сигналов будет равна разрешающей способности, которая составляет 15 м. Таким образом:

$$\Delta L = \Delta R = 15 \text{ м.}$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенн»
Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_6

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Инерциальная система навигации.

Правильный ответ:

Инерциальная система навигации — это разновидность методов навигации, основанная на явлении инерции. Она автономна и не требует наличия внешних ориентиров или поступающих извне сигналов.

Принцип действия инерциальной системы заключается в определении ускорения объекта и его угловых скоростей с помощью установленных на движущемся объекте приборов и устройств. А по этим данным — местоположения (координат) этого объекта, его курса, скорости, пройденного пути и др.

В состав инерциальной системы навигации входят:

- датчики линейного ускорения (акселерометры);
- гироскопические устройства, воспроизводящие на объекте систему отсчёта и позволяющие определять углы поворота и наклона объекта;
- вычислительные устройства (ЭВМ), которые по ускорениям находят скорость объекта, его координаты и др. параметры движения.

Инерциальные системы навигации делятся на:

- Платформенные (ПИНС). Основой для них служит гиростабилизированная платформа.
- Бесплатформенные (БИНС). Акселерометры и гироскопы жёстко связаны с корпусом прибора.

Инерциальная система навигации применяется при решении проблем навигации надводных, подводных и воздушных судов, космических судов и аппаратов и других движущихся объектов. Также она используется в военных целях: в крылатых ракетах и БПЛА, в случае радиоэлектронного противодействия противника.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Представить алгоритм автофокусировки в РСА

Правильный ответ:

Один из алгоритмов автофокусировки в радиолокаторах с синтезированной апертурой (РСА) — алгоритм статистической фокусировки. В нём в качестве критерия качества обработки радиолокационного изображения (РЛИ) используются статистические характеристики отсчётов в окне обработки: математическое ожидание, дисперсия, эксцесс, энтропия, максимальное значение. Программа сама выбирает параметр фокусировки, максимизирующий значение эксцесса, дисперсии или максимальное значение отсчёта.

Ещё один алгоритм автофокусировки в РСА — Map-Drift Autofocus (MDA). Он позволяет оценить локальные квадратичные ошибки на коротких временных интервалах с последующим восстановлением неизвестной фазовой ошибки на временных интервалах произвольной длины. Для локальной оценки используется алгоритм автофокусировки по смещению изображений для каждого блока.

Также существует универсальный алгоритм автофокусировки, основанный на ММ-методе оптимизации. Он позволяет оценить фазовые ошибки, вызванные случайными траекторными нестабильностями полёта носителя РСА, посредством оптимизации квадратичных суррогатных функций качества РЛИ.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:
Рассчитать длительность импульса $\tau_и$ и период повторения Тп РЛС с НФСА, если РЛС обеспечивает на дальности R_0=45 км тангенциальную разрешающую способность δl=30 м. РЛС имеет дальность действия R_{max}=75 км, установлена на носителе, скорость которого 360 км/ч. Разрешающая способность по дальности 15 м

Правильный ответ:

Длительность импульса можно определить через разрешающую способность по дальности:

$$T = \frac{D}{c} = \frac{15}{3 \cdot 10^8} = 5 \cdot 10^{-8} c.$$

Период повторения можно рассчитать, учитывая скорость носителя:
360 км/ч = 100 м/с

$$T_p = \frac{L}{V} = \frac{75000}{100} = 750\ c,$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенн»
Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_7

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Система компенсации траекторных нестабильностей в РСА землеобзора (влияние амплитудных)

Правильный ответ:

Система компенсации траекторных нестабильностей в РСА землеобзора (влияние амплитудных искажений) включает следующие элементы:

1. Использование данных от дополнительной инерциальной навигационной системы (ИНС) носителя. ИНС проводит измерения величины и направления вектора скорости носителя РСА относительно картографируемой точки земной поверхности на всём интервале синтезирования апертуры. Вектор скорости обычно измеряется с помощью трёх гиростабилизированных ортогональных акселерометров.
2. Компенсация относительно фазового центра реальной антенны. Положение фазового центра в пространстве не совпадает с началом координат ИНС, поэтому при вычислении фазового множителя необходимо учесть фазовую поправку этого смещения.
3. Компенсация амплитудных искажений. Они обусловлены в основном ошибками стабилизации ДН антенны и изменением ЭПР цели за время синтезирования. Обычно амплитудные флуктуации траекторного сигнала за время синтезирования невелики, и их влиянием можно пренебречь.

Также изменение ДН в течение отрезка времени синтезирования можно скомпенсировать умножением входного сигнала в каждом канале обработки на специальную весовую функцию.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Определить факторы формирования синтезируемой апертуры

Правильный ответ:

Некоторые факторы, влияющие на формирование синтезируемой апертуры:

- Расстояние, которое устройство проходит над целью за период, когда освещена целевая сцена. Оно создаёт большую апертуру синтезированной антенны (размер антенны).
- Перемещение платформы. По мере движения устройства на борту самолёта или космического корабля местоположение антенны относительно цели меняется со временем.
- Траектория перемещения фазового центра антенны. Движение по сложной траектории, включающей одновременно прямолинейное и вращательное перемещение, приводит к сложному закону частотной модуляции траекторного сигнала.
- Интервал времени, в течение которого сохраняются радиолокационные данные. Расстояние, на которое переместится платформа в течение этого интервала, определяет размер синтезированной апертуры.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Для РЛС с НФСА определить длину синтезированной апертуры L, если длина антенны РЛС *la=1,2 м*; λ=0,03м; T_n=1 мс; R_0=20км; V= 720 км/ч

Правильный ответ:

Вычислим длину синтезированной апертуры через время нажатия:

$$L = \frac{c \cdot T_n}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-3}}{0.03} = 100 \text{ км.}$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенн»
Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_8

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Система компенсации траекторных нестабильностей в РСА землеобзора (фазовых искажений)

Правильный ответ:

Система компенсации траекторных нестабильностей (фазовых искажений) в РСА землеобзора может включать следующие элементы:

1. Система микронавигации. Это автономно функционирующая высокоточная навигационная система, расположенная вблизи фазового центра антенны. Она интегрирует данные от собственных инерциальных блоков, от аппаратуры спутниковой навигации, пилотажно-навигационного комплекса ЛА-носителя и других внешних измерителей. С её помощью определяются поправки для компенсации траекторных нестабильностей.
2. Алгоритмы автофокусировки. Для коррекции фазовых искажений необходимо наличие на РЛИ отражателя, используемого в качестве опорного.
3. Самонастраивающиеся алгоритмы. В них информация о траекторных ошибках извлекается непосредственно из отражённого сигнала. В качестве информационных параметров используется усреднённая по наклонной дальности оценка смещения доплеровского спектра на интервале синтезирования и её высшие производные. Это обеспечивает возможность автоматической коррекции изображений, обусловленных не только ошибками по скорости полёта носителя, но и ошибками, вызванными неучтённым ускорением и скоростью изменения ускорения.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Определить условие возможности пропуска цели и неоднозначности определения азимута для РЛС с СА

Правильный ответ:

Условие возможности пропуска цели — это ситуация, когда принимается решение об отсутствии объекта в то время, как он есть.

Так как в общем случае сигналы и помехи являются случайными функциями времени, то принятие того или иного решения носит случайный характер. Поэтому возможность возникновения такой ситуации принято характеризовать соответствующими вероятностями: вероятностью правильного обнаружения, пропуска, ложной тревоги и правильного необнаружения.

Например, в одном из способов неконтактного подрыва заряда вероятность пропуска цели можно рассчитать по специальной формуле, в которой учитываются количество импульсов подсвета, регистрация сигналов, отражённых от цели и превышающих порог, и другие параметры.

Также для определения возможности пропуска цели могут использоваться различные критерии, например, критерий идеального наблюдателя, критерий Неймана-Пирсона и критерий последовательного анализа.

Неоднозначность определения азимута в РЛС с синтезированной апертурой (СА) возникает из-за осевой симметрии направлений относительно траектории РЛС.

Для устранения неоднозначности можно использовать следующие подходы:

- Сделать апертуры приёмных антенн равными базе. В этом случае ширина диаграммы направленности будет узкой, а азимутальный сектор, в котором происходит однозначное определение разности фаз, совпадет с шириной ДН. Однако для увеличения точности измерения азимута потребуется увеличить не только базу РЛС, но и апертуру каждой антенны.
- Добавить в радиолокационную систему ещё несколько антенн. Они должны располагаться на различных расстояниях друг от друга и обеспечивать перекрытие заданного сектора измерения угловых координат. Пара антенн с малой базой обеспечивает грубое, но однозначное измерение угла, а пара антенн с большой базой — точное, но неоднозначное измерение угла. В итоге можно объединить результаты измерений и однозначно определить угол с высокой точностью.
- Применить интерферометр. Он позволяет устранить неоднозначность, возникающую из-за осевой симметрии направлений относительно траектории РЛС.

3.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Рассчитайте параметр синтезированной апертуры при «нефокусированной» обработке сигналов - тангенциальную разрешающую способность δl при использовании НФСА в РЛС, работающей в импульсном режиме с периодом повторения Тп = 1 мс на волне λ = 3 см, имеющей антенну с апертурой la=1м. Скорость движения РЛС v = 1080 км/ч. Расстояние до цели R0 = 150 км .

Правильный ответ:

Для расчёта тангенциальной разрешающей способности используем формулу:

$$\delta l = \frac{\lambda R_0}{l_a} = \frac{0.03 \cdot 150000}{1} = 4500 \text{ м.}$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенн»
Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_9

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Геометрические искажения изображения.

Правильный ответ:

Геометрические искажения изображения возникают из-за изменения координат передаваемых элементов и проявляются в виде нарушения геометрического подобия воспроизводимого изображения и оригинала.

Некоторые виды геометрических искажений:

- Искажения типов «подушка» и «бочка». Проявляются в виде перекоса изображения и искривления прямых линий. Оценка подушкообразных и бочкообразных искажений производится с помощью коэффициента геометрических искажений.
- Искажения трапецеидального вида. Возникают из-за нарушения оптической и электрической осей к плоскости изображения.
- Искажения формата кадра. Возникают из-за нарушения соотношения величин строчной и кадровой развёртки. Различают горизонтальные и вертикальные искажения формата кадра, которые корректируются с помощью регулировки размеров изображения по горизонтали и вертикали.
- Дисторсия. Это искажение объектива фотоаппарата, связанное с изменением линейного увеличения по полю изображения. Если объектив вносит искажение дисторсия, то при минимальном фокусном расстоянии (зуме) возникает эффект «бочки», а при максимальном фокусном расстоянии — эффект «подушки».

Для выявления геометрических искажений используется метод сканирования эталонов, например, пластиковой плёнки с нанесённой регулярной сеткой высокой точности с заранее известным шагом.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Определить основные параметры РЛС с СА

Правильный ответ:

Некоторые основные параметры РЛС с синтезированной апертурой (СА):

- Скорость носителя РЛС. От неё зависит путь, который носитель проходит за время синтезирования (ТС).
- Горизонтальная дальность до разрешаемого элемента в середине интервала СА (R0).
- Дальность до разрешаемого элемента в начале и в конце интервала СА (R1).
- Номер канала дальности, в который попадает сигнал от разрешаемого элемента в середине интервала СА (N0).
- Номер канала дальности, в который попадает сигнал от элемента в начале и в конце интервала СА (N1).
- Ширина диаграммы направленности антенны. Например, при линейном разрешении 50 см она должна составлять не менее 15 градусов, а при разрешении 25 см — не менее 30 градусов.
- Время синтезирования (ТС). Определяется заданным линейным разрешением и скоростью носителя.

Также к основным параметрам РЛС относят зону действия — область пространства, в которой станция надёжно выполняет определённые функции, и время обзора пространства (поиска цели) — время, необходимое для однократного обзора заданной зоны действия.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Для РЛС с ФСА определить длину синтезированной апертуры L, если длина антенны РЛС *la=1,2 м*; λ=0,03м; T_n=1 мс; R_0=20км; V= 720 км/ч

Правильный ответ:

Вычислим длину синтезированной апертуры через время нажатия:

$$L = \frac{c \cdot T_n}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-3}}{0.03} = 100 \text{ км.}$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенн»
Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_10

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Миграции целей по дальности, её устранение.

Правильный ответ:

Миграция целей по дальности — это перемещение цели в соседние элементы разрешения по дальности в зависимости от радиальной скорости движения. Это явление не позволяет когерентно накопить в каждом канале дальности сформированные сигналы длительностью, равной времени накопления, и амплитуда сигнала на выходе доплеровского фильтра становится меньше потенциально достижимого значения.

Для устранения миграции целей по дальности используют компенсацию. Она заключается в совмещении сигнальных отсчётов одинаковых дискрет дальности разных периодов, в результате потери при накоплении значительно уменьшаются или полностью устраняются.

Также существует базовый алгоритм длительного когерентного накопления отражённого от одиночной цели сигнала при наличии миграции по дальности и её производным. Он предполагает вычисление спектров принимаемой реализации в каждом периоде повторения, коррекцию миграции по дальности и её производным путём умножения спектров на фазовые функции, определяемые ожидаемыми параметрами движения цели, суммирование спектров, умножение результата на комплексную частотную характеристику согласованного фильтра одиночного сигнала и получение выходного сигнала когерентного накопителя путём обратного преобразования Фурье суммарного взвешенного спектра.

Ещё один алгоритм компенсации миграций светящихся точек по дальности — метод «ключевого камня» без интерполяции. Он основан на

преобразовании масштаба и процедуре быстрого фурье-анализа и является модификацией алгоритма «замкового камня».

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Определить количество каналов дальности в устройстве обработки

Правильный ответ:

Количество каналов дальности в устройстве обработки можно определить следующим образом: число каналов по дальности равно интервалу однозначного измерения дальности (rодн).

Например, при использовании корреляционно-фильтрового устройства обработки число каналов по дальности определяется по формуле: число каналов по дальности = rодн.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:
Для РЛС с ФСА оценить тангенциальную разрешающую способность *ϑ*, если длина антенны РЛС *la=1,2 м*; λ=0,03м; T_n=1 мс; R_0=20км; V= 720 км/ч

Правильный ответ:
Вычислим длину синтезированной апертуры через время нажатия:

$$L = \frac{c \cdot T_n}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-3}}{0.03} = 100 \text{ км.}$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенн»
Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_11

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Обработка траекторного сигнала в РСА (этапы обработки, согласованная фильтрация).

Правильный ответ:

Обработка траекторного сигнала в радиолокаторах с синтезированной апертурой антенны (РСА) включает два этапа:

1. Выполнение БПФ в «быстром» времени для сжатия траекторного сигнала по наклонной дальности.
2. Согласованная фильтрация в «медленном» времени для сжатия траекторного сигнала по курсовой (азимутальной) дальности.

Согласованная фильтрация реализуется в цифровом процессоре и позволяет сформировать выходной сигнал, соответствующий одной (вертикальной) строке радиолокационного изображения. Обработка сигнала в двумерном оптимальном фильтре, согласованном с откликом от точечной цели, осуществляется совместно по двум направлениям — вдоль наклонной и путевой дальности.

Сжатие сигналов по дальности для получения высокого разрешения поперёк направления движения осуществляется в каждом периоде зондирования и заключается в вычислении взаимной корреляционной функции принятого сигнала и опорной функции — функции зондирующего сигнала. Сжатие сигналов по азимуту для получения высокого разрешения вдоль направления движения осуществляется по классическому принципу оптимальной фильтрации, заключающемуся в вычислении взаимной корреляционной функции принятого сигнала и опорной функции, согласованной с откликом от точечной цели.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Определить доплеровское смещение траекторного сигнала

Правильный ответ:

Для определения доплеровского смещения траекторного сигнала можно использовать следующий подход:

1. В результате движения цели относительно радиолокационной станции (РЛС) несущая частота принимаемого сигнала вследствие доплеровского эффекта изменяется на величину $f = \pm 2Vr/\lambda$. При сближении с РЛС частота увеличивается (знак «+»), а при удалении от неё — уменьшается (знак «–»).
2. Сравнив частоту принимаемого сигнала $f0 + f$ с частотой излученного $f0$, можно определить доплеровское смещение частоты и радиальную скорость цели: $Vr = -\lambda/2f$.

Также для оценки доплеровского смещения можно использовать методику расчёта функции взаимной неопределённости (ФВН). Для этого на приёмной стороне используется набор из параллельных корреляторов, каждый из которых соответствует отдельному доплеровскому «сечению» ФВН. В каждом корреляторе выполняется операция «свёртки» принятого сигнала и излученного. Для определения доплеровского сдвига частоты сигнала выбирается коррелятор, который на выходе даёт наибольший максимум, то есть в котором частотная полоса спектра излученного и принятого сигнала имеет максимальную область пересечения.

На доплеровское смещение траекторного сигнала влияют различные факторы, например скорость вращения Земли в точке съёмки, вид и параметры орбиты движения космического аппарата, ориентация КА в выбранной системе координат и другие.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Для РЛС с ФСА оценить время синтезирования *tc*, если длина антенны РЛС *la=1,2 м*; λ=0,03м; T_n=1 мс; R_0=20км; V= 720 км/ч

Правильный ответ:

Вычислим длину синтезированной апертуры через время нажатия:

$$L = \frac{c \cdot T_n}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-3}}{0.03} = 100 \text{ км.}$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенн»
Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_12

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Выбор параметров зондирующего сигнала и антенной системы в РСА.

Правильный ответ:

Выбор параметров зондирующего сигнала и антенной системы в радиолокационных системах (РСА) включает в себя решение следующих задач:

1. Выбор ширины полосы зондирующего сигнала. Для космического РСА этот параметр ограничен международным «Регламентом радиосвязи». Например, для X-диапазона (3,1 см) максимальная ширина спектра сигнала равна 600 МГц.
2. Выбор частоты повторения импульсов. Её выбирают из условия однозначного измерения дальности в пределах максимальной полосы захвата (по наклонной дальности) и минимизации неопределённости по азимуту (наложения доплеровского спектра вследствие дискретизации траекторного сигнала).
3. Расчёт параметров антенны. При этом учитываются коэффициент усиления и коэффициент использования антенны, форма её диаграммы направленности, а также другие параметры РСА, такие как наклонная дальность, частота повторения импульсов и ширина полосы обработки.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Провести анализ системы СДЦ в РСА с моноимпульсной антенной

Правильный ответ:

Анализ системы селекции движущихся целей (СДЦ) в РСА с моноимпульсной антенной включает изучение следующих аспектов:

1. Принцип работы. При совпадении доплеровских частот сигналов неподвижной и движущейся целей они различаются азимутальным положением. На этой закономерности и основывается селекция движущихся целей в моноимпульсной РСА. Для подавления сигнала неподвижного объекта, имеющего ту же частоту, что и сигнал движущейся цели, используют разностную диаграмму направленности антенны (ДНА), равносигнальное направление которой направлено на неподвижный объект.

2. Алгоритм обработки. Он состоит из согласованной доплеровской фильтрации и пространственной режекции помехи. С целью снижения вычислительных затрат обычно используется обработка сигнала методом гармонического анализа.

3. Реализация метода. Реализация моноимпульсного метода СДЦ требует сужения ширины зоны съёмки, поскольку на границах синтезируемого радиолокационного изображения могут возникать ложные цели.

4. Требования к энергооснащённости радиолокатора. Она необходима для компенсации потерь в пороговой мощности, обусловленных применяемым методом моноимпульсной радиолокации.

5. Идентичные характеристики антенн и каналов передачи-приёма. В каждом пространственном канале должна предусматриваться система автокалибровки для выравнивания коэффициентов усиления и фазовых характеристик каналов моноимпульсного РСА.

Также для оценки качества работы систем СДЦ обычно используются такие характеристики, как АЧХ режекторного фильтра и канала доплеровской частотной селекции, коэффициент подавления пассивной помехи и коэффициент улучшения фильтра системы СДЦ.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Для РЛС с НФСА оценить время синтезирования *tc*, если длина антенны РЛС *la=1,2 м*; λ=0,03м; T_n=1 мс; R_0=20км; V= 720 км/ч

Правильный ответ:

Вычислим длину синтезированной апертуры через время нажатия:

$$L = \frac{c \cdot T_n}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-3}}{0.03} = 100 \text{ км.}$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенн»
Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_13

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Структурная схема РСА землеобзора, описание функций основных блоков.

Правильный ответ:

Структурная схема радиолокатора с синтезированной апертурой антенны (РСА) землеобзора включает следующие основные элементы:

1. Модулятор. Формирует заданный вид зондирующего сигнала (амплитудную и фазочастотную модуляцию) на несущей частоте.
2. Усилитель мощности. Обеспечивает требуемую мощность излучения зондирующего сигнала, сохраняя его когерентность.
3. Антенна. Излучает электромагнитную волну в пределах заданной диаграммы направленности.
4. Система стабилизации и управления антенной. Обеспечивает стабилизацию и перемещение диаграммы направленности антенны в соответствии с требуемым режимом обзора земной поверхности.
5. Приёмники. Суммарного и разностного каналов обеспечивают усиление и преобразование сигналов на промежуточную частоту с последующим формированием с помощью фазового детектора двух квадратурных сигналов в каждом канале.
6. Цифровая система обработки сигналов. Включает аналого-цифровой преобразователь (АЦП), буферный регистр и процессоры на борту носителя, которые осуществляют согласованную фильтрацию сигналов по дальности (задержке) и азимуту (частоте траекторного сигнала).
7. Инерциальная система микронавигации. Измеряет отклонение движения фазового центра антенны от заданной траектории.
8. Система автофокусировки. Определяет фазовые искажения траекторного сигнала непосредственно по отражённому сигналу от объектов и земной поверхности.

Также к основным составным частям РСА относятся когерентный приёмно-передающий тракт, система обработки траекторных сигналов и вспомогательные устройства.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Провести анализ системы СДЦ по тангенциальной скорости

Правильный ответ:

Анализ системы селекции движущихся целей (СДЦ) по тангенциальной скорости включает изучение следующих аспектов:

1. Принцип работы. Он основан на оценке дополнительного доплеровского набега частоты (фазы) отражённых сигналов, получаемого за счёт движения объектов.
2. Алгоритм, основанный на использовании двух апертур, смещённых по траектории. При его реализации применяются две синтезированные апертуры, смещённые друг относительно друга на расстояние по ходу движения носителя радиолокатора. Величина смещения определяет характеристики и возможности системы СДЦ.
3. Особенности алгоритма. Цель, движущаяся с тангенциальной скоростью, создаёт на РЛИ системы СДЦ два отклика — «истинный» и «ложный». Это может быть интерпретировано системой обработки как наличие в сцене двух различных целей. Информацию о том, что оба отклика относятся к одной движущейся цели, можно извлечь из анализа их фазовых соотношений (фазы откликов симметричны и отличаются на 180°).
4. Точность оценки тангенциальной скорости цели. Для её повышения необходимо увеличивать разницу в интервалах накопления траекторного сигнала первой и второй апертурами. Длительность накопления траекторного сигнала первой апертуры должна быть минимальной, а второй — максимальной.

Также анализ системы СДЦ по тангенциальной скорости позволяет определить, что она эффективно обнаруживает движущиеся цели и подавляет отклики от неподвижных объектов.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:
Рассчитайте параметр синтезированной апертуры при «нефокусированной» обработке сигналов - число точек синтезирования *Nc* при использовании НФСА в РЛС, работающей в импульсном режиме с периодом повторения Тп = 1 мс на волне λ = 3 см, имеющей антенну с апертурой la=1м. Скорость движения РЛС v = 1000 км/ч. Расстояние до цели R0 = 150 км.

Правильный ответ:

Для расчёта точек синтезирования используем формулу:

$$N_c = \frac{T_p \cdot V}{\lambda} = 9.$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенн»
Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_14

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Функция неопределённости зондирующего сигнала в РСА без учёта ДН и с учётом ДН. Неоднозначность измерений дальности и угла.

Правильный ответ:

Функция неопределённости зондирующего сигнала в РСА (ФНЗС) — это модуль нормированной двумерной корреляционной функции, которая используется для анализа свойств зондирующего сигнала.

Вид ФНЗС без учёта ДН включает в себя неоднозначность оценки дальности и угла азимута.

Функция неопределённости с учётом ДН антенны учитывает виды обзора. Например, для радиоимпульса с гауссовской огибающей сечение тела неопределённости плоскостью, параллельной 0tf, имеет форму эллипса. Диаграмма неопределённости короткого импульса вытянута вдоль оси 0F, а длинного — вдоль оси 0t.

Неоднозначность измерений дальности и угла имеет свои особенности:

- При измерении дальности неоднозначность возникает, например, при импульсном методе. Если задержка превышает период повторения, то возникает ошибка измерения (неоднозначность). Также неоднозначность может появляться при использовании фазового метода из-за свойства фазометров оценивать разность фаз лишь в пределах 0–360 градусов. Измеряемое же расстояние практически всегда намного больше одного периода, то есть целое число периодов сдвига фазометр пропускает.
- При измерении угла неоднозначность может возникать, например, в радиопеленгаторных системах из-за периодической функции сигналов от углового направления на маяк. Чтобы обеспечить однозначность измерения пеленга, фазовый способ пеленгования, как правило, сочетают с амплитудным.

Для устранения неоднозначности используют различные методы, например, многочастотные сигналы или объединение фазового и импульсного методов измерения дальности.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Провести анализ поляризационного режима работа РСА

Правильный ответ:

Поляризационный режим работы радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны (РСА) позволяет повысить информативность радиолокационных изображений и вероятность распознавания находящихся на них объектов.

В поляриметрических РСА распространено использование следующих режимов:

1. Режим двух поляризаций. В этом режиме на излучение используется одна поляризация (V или H), на приём — две (V + H).
2. Полнополяриметрический режим. Режим четырёх поляризаций, когда на соседних зондированиях на излучение поочередно переключают поляризацию (V, H), а на приём отражённых сигналов одновременно используются два канала V и H.

Поляриметрия играет существенную роль в интерпретации РЛИ и классификации различных типов земных покровов, обнаружении нефтяных плёнок, оценке параметров леса и сельскохозяйственных культур, снежного или ледового слоя, построении карт рельефа местности высокого разрешения, для оценки смещений поверхности, в метеорологических приложениях.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:
Найдите максимальное значение разности хода волны ΔR и фазового сдвига φ при «фокусированной» на дальность R0 = 100 км синтезированной апертуре, если РЛС с ФСА работает на волне λ=0,03 м в импульсном режиме с периодом повторения импульсов *Tп*=1 мс , имеет антенну с апертурой la = 1,5 м и установлена на ЛА, скорость которого v = 720 км/ч.

Правильный ответ:

Максимальное значение фазового сдвига будет достигнуто при максимальной расстояний:

$$\Delta\varphi_{max} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot l_a = \frac{2\pi}{0{,}03} \cdot 1{,}5 = 314 \text{ рад}$$

Максимальная разность хода сигналов между двумя точками можно рассчитать, учитывая разрешающую способность по дальности. Разность хода сигналов будет равна разрешающей способности, которая составляет 15 м. Таким образом:

$$\Delta L = \Delta R = 15 \text{ м.}$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенн»
Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_15

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Задача обнаружения целей в РСА (обнаружение цели с отрицательным контрастом).

Правильный ответ:

Задача обнаружения цели с отрицательным контрастом в РСА заключается в обнаружении пространственно-распределённой цели, когда окружающий фон имеет удельную ЭПР больше, чем удельная ЭПР цели.

Например, такая ситуация возникает при обнаружении просеки в лесу, ВПП, речки с пологими берегами. В этом случае задача обнаружения сводится к различению двух сигналов, отличающихся средней мощностью.

Характеристики обнаружения целей с отрицательным контрастом определяются отношением мощности окружающего фона к мощности цели в элементах разрешения (контрастом). Контраст уменьшается вследствие попадания в элемент разрешения цели отражений от окружающего фона по боковым лепесткам.

Для обнаружения протяжённой цели требуется контраст 12 дБ при однократном обзоре и 5 дБ при 4-кратном обзоре. Дальность обнаружения цели с отрицательным контрастом определяется условием, при котором можно пренебречь влиянием шумов на величину контраста изображения.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Провести анализ системы СДЦ по радиальной скорости

Правильный ответ:

Анализ системы селекции движущихся целей (СДЦ) по радиальной скорости включает изучение следующих аспектов:

1. Доплеровское смещение частоты. Радиальная скорость движущихся целей даёт дополнительное доплеровское смещение частоты по сравнению с частотой эхо-сигнала от неподвижного объекта, находящегося в той же точке пространства.

2. Погрешность оценивания радиальной скорости. Для её определения рассматриваются сечения радиолокационного изображения в координатах «дальность-скорость». Например, при отношениях сигнал-шум порядка 23–24 дБ погрешность оценивания радиальной скорости объекта составляет 1–3 м/с, а при q > 24 дБ — 0,5–1 м/с.

3. Коэффициент улучшения фильтра системы СДЦ. Показывает, во сколько раз усреднённое отношение сигнал-помеха на выходе системы выше усреднённого отношения сигнал-помеха на её входе.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Найдите значение длины волны λ в РЛС с «фокусированной» СА, длина синтезированной апертуры которой L = 500 м, тангенциальная разрешающая способность $\delta 1$ = 0,6 м и ширина диаграммы направленности синтезированной антенны φ_c=3x10^{-3} рад.

Правильный ответ:

Для расчёта длины волны используем формулу:

$$\lambda = \frac{L \cdot \delta 1}{\varphi c} = \frac{500 \cdot 0.6}{3 \cdot 10^{-3}} = 100 \text{ км.}$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенн»
Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_16

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Задача обнаружения целей в РСА (обнаружение на сильноотражающем фоне)

Правильный ответ:

Задача обнаружения целей в радиолокационной станции (РСА) на сильноотражающем фоне заключается в определении характеристик обнаружения сосредоточенной цели на фоне с высокой отражательной способностью.

Основное влияние на характеристики обнаружения в этом случае оказывает помеховый сигнал фона в элементе разрешения, а внутренним шумом РСА можно пренебречь. Характеристикой обнаружения в этом случае является вероятность обнаружения конкретной цели на заданном фоне при заданной вероятности ложной тревоги в элементе разрешения.

Основным фактором, определяющим эффективность обнаружения, является разрешающая способность РСА. Чем меньше площадь элемента разрешения, тем меньше помеховый сигнал фона в этом элементе и тем выше вероятность обнаружения цели.

Дальность обнаружения в этом случае определяется условием, когда отношение сигнал/шум становится больше требуемого отношения сигнал/фон, и шумом можно пренебречь. Требуемое отношение сигнал/фон при определённых условиях равно 15 дБ при однократном и 9 дБ при 4-кратном обзоре.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Провести анализ алгоритмов СДЦ

Правильный ответ:

Алгоритмы селекции движущихся целей (СДЦ) и их анализ:

1. Алгоритм междуобзорной селекции движущихся целей. Эффективен в выделении целей с очень низкими скоростями движения, но имеет ограничение по дальности обнаружения из-за низкого коэффициента подавления пассивных помех.

2. Алгоритм междупериодной селекции движущихся целей. Применяет фильтры с гребенчатой структурой, демонстрирует высокую эффективность в подавлении коррелированных пассивных помех и выделении сигналов от движущихся целей. Однако использование многокаскадных фильтров ЧПК позволяет улучшить форму зоны режекции, что критично для низкоскоростных целей.

3. Доплеровский спектральный анализ. Позволяет точно оценивать радиальную скорость целей и получать спектральный портрет объектов, что значительно упрощает задачу их распознавания. Однако этот метод страдает от неоднозначности измерения дальности и больших потерь энергии при обработке.

4. Алгоритмы селекции по тангенциальной скорости. Основаны на использовании синтезированных апертур различной длительности, а также двух апертур, смещённых по траектории движения носителя. Система СДЦ по тангенциальной скорости, использующая две апертуры со смещением по траектории, достаточно эффективно обнаруживает движущиеся цели и подавляет отклики от неподвижных объектов.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Найдите максимальное и минимальное значения фазового сдвига траекторного сигнала на участке синтезирования апертуры L, если РЛС с ФСА имеет длину волны λ = 0,025 м, антенну с апертурой la=2,5м и перемещается со скоростью v=100м/с. Дальность до цели R0=50 км

Правильный ответ:

Для нахождения фазового сдвига необходимо использовать формулу:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta R,$$

где $\Delta R = l_a \cdot \frac{R_0}{R_0 + L}$ – разность в расстоянии до цели для разных точек антенны.

Максимальное значение фазового сдвига будет достигнуто при максимальной расстояний:

$$\Delta\varphi_{max} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot l_a = \frac{2\pi}{0{,}025} \cdot 2{,}5 = 628{,}3$$

Минимальное значение будет соответственно:

$$\Delta\varphi_{min} = 0$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенн»
Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_17

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Задача обнаружения целей в РСА (режим картографирования)

Правильный ответ:

Задача обнаружения целей в радиолокаторе с синтезированной апертурой (РСА) в режиме картографирования заключается в том, чтобы вероятность обнаружения целей зависела от разрешающей способности РСА. Помимо дальности и прочих технических параметров и условий наблюдения, желательным условием является соответствие разрешающих способностей по дальности и азимуту.

Маршрутный режим картографирования в полосе предполагает фиксированную ориентацию антенны радиолокатора в сторону от траектории полёта платформы. Получаемое в результате картоподобное изображение в виде полос формируется по ширине полосой захвата радиолокатора, а по длине — траекторией полёта платформы.

Прожекторный режим работы РСА обеспечивает получение высокого разрешения путём управления положением луча антенны и удержания его на цели в течение более длительного времени. За счёт этого формируется более протяжённая синтезированная апертура. Особенностью данного режима является то, что пока луч антенны направлен в окрестность заданной цели, другие объекты в полосе захвата радиолокатора не могут быть «освещены».

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Провести анализ системы СДЦ в РСА путем доплеровской фильтрации сигналов

Правильный ответ:

Анализ системы селекции движущихся целей (СДЦ) в радиолокаторе с синтезированием апертуры (РСА) путём доплеровской фильтрации сигналов включает изучение следующих аспектов:

1. Принцип работы. При использовании однолучевой диаграммы направленности антенны РСА отличие сигналов движущихся и неподвижных объектов проявляется в различной зависимости средней доплеровской частоты траекторного сигнала от углового положения объекта. Таким образом, сигналы движущихся объектов, принимаемые по основному лепестку диаграммы направленности антенны вместе с сигналами неподвижных объектов, будут отличаться по доплеровским частотам и могут быть отфильтрованы (селектированы) в системе обработки траекторных сигналов.
2. Эффективность селекции. Она существенно зависит от углового положения движущихся целей относительно максимума диаграммы направленности антенны. В связи с этим такая система СДЦ обычно дополняется логическим алгоритмом выделения движущихся целей при сканировании диаграммы направленности антенны.
3. Недостатки системы СДЦ. Один из существенных недостатков — неопределённость углового положения — радиальной скорости движущегося объекта. Взаимное положение по азимуту объектов в изображении определяется доплеровскими частотами их сигналов, поэтому отметка движущегося объекта в изображении будет значительно смещена по азимуту относительно истинного положения.
4. Оценка качества работы системы СДЦ. Для этого используются, например, такие характеристики: АЧХ режекторного фильтра и канала доплеровской частотной селекции, коэффициент подавления пассивной помехи и коэффициент улучшения фильтра системы СДЦ.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Рассчитайте параметры синтезированной апертуры при «нефокусированной» обработке сигналов длину апертуры L при использовании НФСА в РЛС, работающей в импульсном режиме с периодом повторения Тп = 1 мс на волне λ = 3 см, имеющей антенну с апертурой la=1м. Скорость движения РЛС v = 1080 км/ч. Расстояние до цели R0 = 150 км .

Правильный ответ:

$$L = \frac{c \cdot T_n}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-3}}{0.03} = 100 \text{ км.}$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенн»
Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_18

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Задача обнаружения целей в РСА (обнаружение на слабоотражающем фоне)

Правильный ответ:

Задача обнаружения отдельной сосредоточенной цели на слабоотражающем фоне в радиолокационной станции (РСА) характеризуется дальностью, на которой обеспечивается обнаружение цели с заданными вероятностями правильного обнаружения и ложной тревоги.

Дальность обнаружения в этом случае определяется отношением мощности сигнала цели к мощности внутреннего шума на выходе приёмника. Мощность сигнала цели увеличивается пропорционально числу накапливаемых импульсов при синтезировании апертуры и уменьшается вследствие потерь в высокочастотном тракте, среде распространения и системе обработки сигналов. При заданном постоянном разрешении по азимуту мощность сигнала уменьшается пропорционально дальности в третьей степени.

Вероятность правильного обнаружения определяется статистическими свойствами сигналов цели и помех. Плотность вероятности распределения ЭПР сосредоточенной рукотворной цели обычно характеризуется логнормальным законом либо законом «хи-квадрат» с четырьмя степенями свободы.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Провести анализ режима обратного (инверсного) синтезирования в РЛС землеобзора

Правильный ответ:

Обратное (инверсное) синтезирование в РЛС землеобзора — технология получения радиолокационных изображений (РЛИ), при которой с помощью неподвижного радара производится наблюдение за двигающимися или вращающимися целями.

Основные особенности этого метода применительно к РЛС землеобзора:

- цель движется как единый объект, то есть отдельные элементы цели перемещаются по взаимосвязанным траекториям;
- при наблюдении одиночных объектов, например кораблей, размер зоны обзора определяется размером объекта;
- разрешение по угловой координате определяется углом поворота цели относительно направления на РЛС за время синтезирования;
- угловой размер апертуры обычно не превышает десятка градусов, так как при этом уже достигается разрешение порядка нескольких длин волн;
- разрешение по дальности обеспечивается за счёт модуляции зондирующего сигнала;
- параметры траекторного сигнала определяются параметрами движения цели (векторами линейной и угловой скоростей), которые в большинстве случаев неизвестны наблюдателю. Это требует адаптивной к параметрам движения цели обработки траекторного сигнала и большого объёма априорных сведений о цели.

В РЛС землеобзора этот метод используется для получения изображений морских целей (кораблей). Он даёт возможность получения высокого разрешения в передней зоне обзора РСА, так как необходимый угловой размер синтезированной апертуры обеспечивается за счёт собственного движения (перемещения и вращения) корабля.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Импульсная РЛС с «фокусированной» СА на дальность *R0* = 30 км обеспечивает тангенциальную разрешающую способность δl = 2м. Найдите частоту повторения импульсов Fп и апертуру реальной антенны РЛС, если скорость ее носителя v = 720 км/ч.

Правильный ответ:

Для расчёта частоты повторения используем формулу:

$$f = \frac{V}{2\delta l} = \frac{200}{2 \cdot 2} = 50 \text{ Гц.}$$

Для определения апертуры используем формулу:

$$l_a = \frac{\lambda R_0}{\delta l} \text{ и } \lambda = \frac{\text{c}}{f}$$

$$l_a = \frac{c \cdot R_0}{\delta l \cdot f} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 30000}{2 \cdot 50} = 90000 \text{ км.}$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенн»
Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_19

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Характеристики объектов радиолокационной съемки (тип рассеяния, зависимость от длины волны, влияние поляризации, спектр-шум).

Правильный ответ:

Характеристики объектов радиолокационной съёмки:

- Тип рассеяния: реальные поверхности объектов естественного и искусственного происхождения имеют как шероховатые, так и гладкие неоднородности и создают одновременно и диффузное, и зеркальное отражения. Соотношение между ними определяется размерами неоднородностей, длиной волны и направлением облучения.
- Зависимость от длины волны: длина волны определяет проникающую способность излучения, принципиальный уровень пространственного разрешения и уровень спектр-шума.
- Влияние поляризации: объекты простой формы (сфера, уголковый отражатель) дают отражённый сигнал только при согласованных поляризациях излучения и приёма. Вертикальные линейные объекты (столбы, трубы, деревья и т. п.), а также горизонтальные линейные объекты (линии электропередач, рельсы), расположенные по направлению от РЛС, дают отражение при VV-поляризации. Горизонтальные линейные объекты, если они параллельны вектору E, дают отражение при HH-поляризации. Произвольно направленные сложные объёмные и линейные объекты дают отражения в любых комбинациях поляризаций.
- Спектр-шум: образуется в результате когерентного суммирования отражённых электромагнитных волн от пространственно случайных источников рассеяния, попадающих в элемент разрешения РСА. Из-за этого на изображении однородного фона появляется пятнистость, вызванная

флуктуациями суммарного процесса при переходе от одного элемента к другому. Спектр-шум ухудшает радиометрическое разрешение РЛИ.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Провести анализ РСА в режиме скоростного портрета

Правильный ответ:

Анализ РСА в режиме скоростного портрета предполагает формирование изображения распределения скоростей морской поверхности с высоким пространственным разрешением. В этом режиме выполняется анализ характеристик (структуры и интенсивности) двух составляющих скоростного распределения:

1. Регулярных волновых структур, интервал пространственной корреляции которых превышает разрешение РСА.
2. Случайной (турбулентной) составляющей скоростного распределения с интервалом корреляции меньшим разрешения РСА.

В результате использования скоростного информационного признака повышается эффективность обнаружения и идентификации различных процессов, возникающих на морской поверхности.

При формировании скоростного портрета измеряется изменение фазы функции отражения морской поверхности, которое определяется скоростью движения разрешаемых элементов.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:
Рассчитайте параметры синтезированной апертуры при «фокусированной» обработке сигналов: длину апертуры L, число точек синтезирования Nc и тангенциальную разрешающую способность δl при использовании ФСА в РЛС, работающей в импульсном режиме с периодом повторения Тп = 1 мс на волне λ = 3 см, имеющей антенну с апертурой la=1м. Скорость движения РЛС v = 1080 км/ч. Расстояние до цели R0 = 150 км .

Правильный ответ:

Для определения длины синтезированной апертуры используем формулу:

$$L = \frac{c \cdot T_n}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-3}}{0.03} = 100 \text{ км.}$$

Для расчёта точек синтезирования используем формулу:

$$N_c = \frac{T_p \cdot V}{\lambda} = 9.$$

Для расчёта тангенциальной разрешающей способности используем формулу:

$$\delta l = \frac{\lambda R_0}{l_a} = \frac{0.03 \cdot 150000}{1} = 4500 \text{ м.}$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенн»
Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_20

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
РЛС бокового обзора и РЛС с синтезированной апертурой антенны. Принцип работы, основные характеристики (разрешающая способность, дальность действия), сравнительный анализ.

Правильный ответ:

Принцип работы РЛС бокового обзора (РБО) заключается в формировании радиолокационного изображения местности в полосе обзора за счёт приёма сигнала, отражённого от участка поверхности, расположенного в пределах диаграммы направленности реальной антенны. Изображение формируется в координатах: путевая дальность (азимут) — наклонная дальность.

Принцип работы РЛС с синтезированной апертурой антенны (РСА) основан на запоминании амплитуды и фазы принятых сигналов и последующей обработке, заключающейся в их когерентном суммировании на значительном участке траектории движения с предварительной фазовой коррекцией. В результате создаётся виртуальная приёмная антенна (синтезированная апертура) с размером, эквивалентным расстоянию, которое прошёл спутник за время регистрации изображения.

Основные характеристики РЛС бокового обзора: потенциальная разрешающая способность по наклонной дальности — 0,25 м. Основные характеристики РЛС с синтезированной апертурой антенны: типичное разрешение изображений со спутника Sentinel 1 SAR — 20 метров в любое время дня и ночи.

Сравнительный анализ:

РЛС бокового обзора отличаются сравнительной простотой и высоким качеством и информативностью изображения, но уступают аэрофотоаппаратам по разрешающей способности. Для получения

сравнимого с ними разрешения антенна РЛС должна иметь длину, равную сотням метров, что невозможно установить на самолёте.

РЛС с синтезированной апертурой антенны позволяют получать радиолокационные изображения поверхности планеты и находящихся на ней объектов независимо от метеоусловий и времени суток с детальностью, сравнимой с аэрофотоснимками. Качество изображения, получаемого РСА, приближается к качеству аэрофотоснимков, что делает их наиболее эффективными для картографирования и исследования природных ресурсов.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Провести анализ интеферометрического режима РСА

Правильный ответ:

Анализ интерферометрического режима РСА включает изучение следующих аспектов:

1. Суть метода. Заключается в совместной обработке фазовых полей, полученных съёмкой одного и того же участка местности одновременно двумя антенными системами либо одной антенной на двух витках орбиты.
2. Процесс формирования интерференционного сигнала. Амплитуды и фазы регистрируемых при съёмке сигналов записываются в радиоголограмму, а после синтезирования апертуры — в комплексные радиолокационные изображения. При интерферометрической обработке случайные составляющие фаз частично компенсируют друг друга, что позволяет выделить топографическую составляющую.
3. Влияние параметров на точность. Теоретически точность цифровой модели местности тем выше, чем больше длина базовой линии. Однако слишком большие величины базовой линии приводят к снижению когерентности — согласованности (постоянства разности фаз) разных колебательных или волновых процессов во времени.
4. Временная база. Время между съёмками изображений интерферометрической пары. Временная база должна быть как можно меньше, в идеале — равной нулю. При увеличении временного интервала между съёмками повышается вероятность поверхностных изменений, искажающих фазовую картину изображения.
5. Фазовые искажения радиосигнала. Исследуются фазовые искажения радиосигнала РСА, обусловленные влиянием атмосферы Земли.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:
На ЛА, движущемся со скоростью v = 350 м/с на высоте H=10 км, установлена РЛС с «фокусированной» СА, которая формирует карту местности с размером разрешаемого элемента 6х60 м. Длина волны РЛС λ = 0,03 м, а дальность действия лежит в пределах от Rmin =15 км до Rmax = 60 км. Определите длину синтезируемой апертуры L и число, азимутальных каналов обработки $n_a = N$, если расстояние от РЛС до элемента разрешения составляет R_0 =40 км

Правильный ответ:

Длина синтезируемой апертуры может быть найдена по формуле:

$$L = \frac{DR_0}{\delta} = \frac{6 \cdot 40000}{60} = 400 \text{ м.}$$

Число азимутальных каналов обработки:

$$N_0 = \frac{L}{\lambda} = \frac{400}{0.03} = 133333$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;

«хорошо» - при сумме баллов 4;

«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;

«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенн»
Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_21

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Классификация систем радиовидения.

Правильный ответ:

Системы радиовидения классифицируют по нескольким признакам:

- По количеству каналов приёма. Одноканальные и многоканальные.
- По типу регистрации излучения. Активные и пассивные.

Активные системы радиовидения исследуемый объект облучают, и построение радиоизображения происходит от отражённых от него радиоволн. Пассивные системы регистрируют собственное излучение из исследуемого объекта.

Также выделяют терагерцовые системы радиовидения. Они могут быть активными, работающими на импульсном или непрерывном излучении, и пассивными, принцип работы которых основан на регистрации мощности собственного теплового радиоизлучения объектов.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Провести анализ многопозиционного режима РСА

Правильный ответ:

Многопозиционный режим радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны (РСА) позволяет получать высокое угловое разрешение путём синтезирования апертуры антенны при движении как передающей, так и приёмной позиции. При этом число радиолокационных позиций и их взаимное перемещение относительно цели выбираются исходя из необходимости решения конкретной тактической задачи.

Некоторые особенности многопозиционного режима РСА:

- Возможность использования одновременно многих систем, работающих только в режиме приёма, при одной передающей позиции, которая облучает заданную зону обзора. Отсутствие излучения в таких приёмных позициях РСА повышает скрытность работы и боевую устойчивость. При этом значительно снижаются масса и энергопотребление приёмных позиций.
- Основная проблема при работе многопозиционной РСА — обеспечение синхронизации приёмных позиций с передающей по несущей частоте, частоте повторения импульсов и положению зоны обзора.

В качестве носителей передающей позиции могут использоваться как авиационные, так и космические аппараты, а приёмные позиции могут быть даже неподвижными (наземные и морские станции, аэростаты и т. и.).

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:
Бортовая импульсная РЛС с «нефокусированной» СА имеет на волне λ = 0,025 м дальность действия *Rmax*= 120 км, $T_n = 1$мс. Какая должна быть длина синтезированной апертуры Lэф, чтобы на дальности R = 100 км тангенциальная разрешающая способность составила δl=50м?

Правильный ответ:

$$L = \frac{c \cdot T_n}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-3}}{0.025} = 100 \text{ км.}$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев