**1 слайд:**

Представиться

**2 слайд:**

Основным преимуществом радиолокационных средств наблюдения поверхности является всепогодность и независимость от освещения. Одной из главных проблем получения качественных изображений поверхности с использованием РСА авиационного базирования, в том числе на БПЛА, является нестабильность траектории при съемке. Традиционным способом решения данной проблемы является дополнительная процедура автофокусировки изображения, которая существенно увеличивает вычислительную нагрузку. Микроминитюаризация, усовершенствование инерциальных датчиков и высокоточных средств определения положения с помощью ГНСС (до нескольких сантиметров) позволяют в данный момент получать точную информацию о положении и ориентации носителя РСА во время съемки и учитывать ее для компенсации траекторных искажений. Преимуществом данного подхода является возможность избежать процедуру автофокусировки с помощью корректировки существующих алгоритмов синтеза изображений с сохранением радиометрических и геометрических характеристик РЛИ. Таким образом, цель работы является актуальной.

**3 слайд:**

Таким образом, целью данной работы является исправление траекторных нестабильностей с помощью использования траекторной информации при синтезе радиолокационных изображений (РЛИ) РСА.

**4 слайд:**

Задачи, решаемые в работе представлены на экране. (прочитать)

**5 слайд:**

Поскольку проблема искажения траекторного сигнала является существенной для РСА авиационного базирования, существуют различные подходы к компенсации ТН. Их можно разделить на 2 класса. Первый — методы, основанные на процедуре автофокусировки. Данный подход заключается в том, что для высокоточного измерения фазовых искажений используется подход, основанный на использовании информации о фазовых нестабильностях, содержащейся в самой голограмме или РЛИ. Процесс автофокусировки включает 2 этапа: оценка фазовой ошибки, исходя из РЛИ; затем расчёт опорной функции на основании вычисленной ошибки и умножение на неё траекторного сигнала. Для расчёта фазовой ошибки могут использоваться достаточно мощные сигналы от точечных отражателей как ориентиры, или же траекторный сигнал от всех объектов и фона. Альтернативой являются методы, использующие навигационные данные, полученные от БИНС носителя для вычисления искажения траектории, и затем для их компенсации. С развитием навигационных систем появилась возможность с достаточной точностью определять положение и ориентацию носителя РСА во время съёмки, что делает данное направление перспективным для изучения. Исследования и реализации данного класса методов широко представлены в данных англоязычных статьях. Далее будет подробнее рассмотрен только этот класс методов.

**6 слайд:**

Таким образом, задачи, которые требуется решить для достижения цели следующие: (прочитать)

**7 слайд:**

Навигационная информация о положении и ориентации носителя РСА позволяет вычислить расстояние между фактическим и предполагаемым положением фазового центра антенны в момент приёма. Исходя из модели отражённого от точечной цели сигнала, эта разница равносильна фазовой ошибке и дополнительной задержке сигнала, которая искажает отклик цели и должна быть исправлена.

**8 слайд:**

Сейчас я поясню, как применение каждого из методов сказывается на конечном результате. Важно рассмотреть закон изменения дальности, так как искажение траектории приводит к его изменению, и он уже не соответствует идеальному закону, который предполагается алгоритмом синтеза для прямой траектории. Таким образом, вследствие траекторных нестабильностей появляется расфокусировка изображения. Компенсация траекторных отклонений осуществляется двумя методами, основанными на исправлении фазы откликов цели. Первый метод выполняется путём интерполяции по “быстрому” времени и умножения сигнала на согласованный фильтр, зависящий от времени по азимуту и от искажения траекторного сигнала на заданной дальности. В результате применения метода для каждого канала по дальности остаются только искажения, связанные с законном изменения дальности для каждой цели по отдельности, убрать которые некоторым общим согласованным фильтром уже невозможно. Во втором методе искажение наклонной дальности для каждой цели представляется как сумма двух слагаемых: искажения, зависящие только от заданной наклонной дальности и только от произвольной наклонной дальности сцены. Первый тип ошибок компенсируется перед операцией сжатия по дальности, второй – сразу после неё. Данный метод позволяет получить приемлемое разрешение при исключении дорогостоящей в вычислительном плане операции интерполяции.

**9 слайд:**

В работе для оценки качества работы алгоритмов компенсации в среде Matlab была разработана модель сигнала РСА авиационного базирования, позволяющая задавать геометрию сцены и траекторию носителя. Моделируемыми объектами являются точечные отражатели. Искажение траектории представляется в виде гармонической функции, прибавляемой к одной из осей координат носителя. Моделирование проводится сначала для искажений порядка размера ячейки изображения по дальности, затем для искажений, существенно больших. Оценка качества полученных изображений выполняется на основе анализа функции отклика точечных целей по следующим параметрам: разрешение по азимуту и дальности, относительный и интегральный уровень мощности боковых лепестков.

**10 слайд:**

На данном слайде представлены параметры модели и координаты целей, которые выбраны на основании характерных значений для РСА самолётного базирования.

**11 слайд:**

Для синтеза РЛИ выбран дальностно-доплеровский алгоритм как наиболее простой в реализации, а также позволяющий проводить контроль промежуточных этапов обработки. Основные его шаги представлены на слайде.

**12 слайд:**

На данном слайде подробно представлена последовательность синтеза РЛИ. На амплитудном изображении голограммы присутствует сигнал от 9 целей, (также добавлен шум)( с характерной мощностью -20 дБ). Красной линией обозначен теоретический закон изменения дальности в соответствующих координатах. После операции сжатия по дальности континуальный по времени сигнал от цели, зашитый в голограмме, будет представлять из себя несколько отсчётов по данной оси, в которых будет сконцентрирована его мощность, что позволяет разделить сигналы от разных источников. БПФ по азимуту переводит голограмму в частотную область по азимуту, благодаря чему отклики целей на одной дальности будут располагаться на одной линии (для них будет одинаковый закон изменения дальности). Коррекция миграции дальности устраняет зависимость дальности от движения носителя, после чего отклики располагаются на одной прямой. Затем производится сжатие и ОБПФ по азимуту, после чего мы получаем сфокусированное изображение цели на заданных координатах. Следовательно, алгоритм реализован корректно.

**13 слайд:**

На слайде представлены промежуточные этапы синтеза РЛИ при влиянии ТН. Видно, что вид отклика цели на каждом этапе уже не соответствует теоретическому закону, что приводит к расфокусировке конечного изображения цели.

**14 слайд:**

Качество изображения определяется параметрами функции отклика цели: разрешением (определяется по ширине главного лепестка отклика на уровне -3 дБ, который будет иметь вид sinc исходя из модели сигнала), относительным уровнем боковых лепестков (определяется как отношение максимума мощности первого бокового лепестка P1 к максимуму мощности центрального лепестка P0), интегральным уровнем боковых лепестков (определяется как отношение мощности всех боковых лепестков к мощности центрального (залит синим)) по азимуту и дальности.

**15 слайд:**

Для определения качества работы процедур компенсации вводится критерий сфокусированности РЛИ, на основании которого затем определяются границы применимости алгоритмов и осуществляется их сравнение. В качестве граничных значений характерные граничные значения из литературы. На слайде представлены изображения целей при отсутствии ТН и результаты измерений параметров их функций отклика.

**16 слайд:**

Симуляции модели проводятся при следующих параметрах: амплитуда ТН изменяется от 0 до 0,5 м с шагом 0,1 м, что соизмеримо с размером ячейки изображения. ТН представляются в виде гармонической функции, которая прибавляется к одной из осей координат траектории. Значения частоты функции ТН взяты так, чтобы на длине пути укладывались соответственно 1, 2 и 3 её периода. Выбор данных параметров для исследования связан с параметрами радара, такими как шаг дискретизации по дальности и полоса съёмки. По результатам измерения определяется зависимость параметров функции отклика от амплитуды и частоты ТН. На основании введённого ранее критерия по данной зависимости можно сделать вывод о результатах работы процедур компенсации и их применимости.

**17 слайд:**

На данном слайде представлена зависимость пространственного разрешения от амплитуды ТН. При увеличении частоты ТН оно будет несущественно улучшаться, так как при увеличении частоты функция ТН будет лишь ухудшать соотношение сигнал-шум и тем самым увеличивать уровни боковых лепестков, не влияя на разрешение.

**18 слайд:**

На данном слайде представлена зависимость относительного уровня боковых лепестков от амплитуды ТН. Из графика видно, что существенное ухудшение качества изображения для базового метода наступает медленнее, чем для приближённого. Тем не менее, для обоих методов данный параметр был улучшен в сравнении со случаем без компенсации.

**19 слайд:**

На данном слайде представлена зависимость интегрального уровня боковых лепестков от амплитуды ТН. Из графика видно, что существенное ухудшение качества изображения для базового метода также наступает медленнее, чем для приближённого. Тем не менее, для обоих методов данный параметр был также улучшен в сравнении со случаем без компенсации.

**20 слайд:**

Таким образом, в работе рассмотрены основные принципы работы РСА и синтеза РЛИ, проанализированы различные подходы к компенсации ТН; для оценки качества работы алгоритмов компенсации реализована модель сигнала РСА авиационного базирования; проведён анализ качества реализованных алгоритмов коррекции ТН по модельным данным. Поставленная цель достигнута, по результатам оценки параметров функции отклика точечных целей после применения процедур компенсации было восстановлено требуемое качество РЛИ. «Приближённый» метод справляется с компенсации хуже «базового», т. е. расфокусировка скомпенсированного данным методом РЛИ наступает при меньших величинах амплитуды ТН. Однако, в силу меньшей вычислительной сложности, «приближённый» метод может применяться для быстрой оценки качества синтеза и компенсации ТН на низкопроизводительных системах. Дальнейшими направлениями исследования может быть моделирование компенсации ТН при ненулевых углах скоса и различных видах функций искажения траектории, которые не были рассмотрены в данной работе. Также реализованные алгоритмы могут быть отлажены и применены для реальных данных с самолётного РСА макета РЛК Радиолокация-Х разработки АО РКС.