

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.3.093.2

Нгуен  
Тьен Тхай

Модели отраженных сигналов и построение изображений винта вертолета  
при обратном синтезе аппаратуры антенны

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-39 81 03 – Информационные радиотехнологии

---

*(подпись магистранта)*

Научный руководитель  
Гейстер Сергей Романович  
д.т.н., профессор

---

*(подпись научного руководителя)*

Минск 2016

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Успехи в создании устройств обработки радиолокационных сигналов, привели к разработке бортовых радиолокационных станций обзора земной поверхности, обеспечивающих очень высокое угловое разрешение [1-4]. К задаче обнаружения и получения высококачественного изображения, измерения размеров и распознавания объектов относится РЛС с синтезированием апертуры антенны.

Синтезирование апертуры антенны (САА) является одним из наиболее перспективных направлений развития радиолокации. Основным преимуществом этого направления является:

- позволяет получать радиолокационное изображение (РЛИ) расположенных на земной поверхности объектов независимо от времени суток, уровня освещенности и в сравнительно сложных метеорологических условиях;
- эффективные алгоритмы обработки сигналов, реализуемые на новой элементной базе и позволяющие приблизить информационные возможности РЛС с САА (качество сверхразрешения в пространстве наблюдения) к возможностям оптических средств при одновременном снижении весогабаритных параметров аппаратуры.

Синтез апертуры антенны связан с формированием сверхбольшой апертуры антенны на основе обработки принятого сигнала в ходе взаимного перемещения объекта и антенны. При этом антенна имеет сравнительно широкую физическую диаграмму направленности (ДН), а параметры взаимного перемещения определены заранее или определяются в процессе САА. В результате САА обеспечивается сверхразрешения наблюдаемого объекта по угловой координате, относительно которой происходит интенсивное перемещение [2].

САА занимает важное место в современной радиолокации, так как обеспечивает существенное увеличение информации о форме и размерах объектов, наблюдаемых на больших дистанциях, за счет сверхразрешения по угловой координате. В настоящее время существуют разные методы и алгоритмы прямого и обращенного синтеза апертуры антенны, которые имеют разное качество работы и могут использоваться для решения многих задач.

В диссертационной работе была исследована возможность по сверхразрешению объектов при обращенным синтезом апертуры антенны. Под сверхразрешению объектов понимается как способность разрешения по длине двух соседних отражателей по поверхности объекта.

Главными достоинствами РЛД с обращенным САА являются высокая информативность и оперативность, то есть возможность получения РЛП объектов практически в реальном масштабе времени. Кроме того, гибкость

цифровой обработки и управления позволяет обеспечить оперативное изменение разрешающей способности РЛД по азимуту.

РЛС при обращенном синтезе апертуры используется в гражданской области, предназначен для обнаружения нарушителей воздушных границ, которые используют предельно малые высоты на направлениях, где существуют углы закрытия для радиолокаторов обзора (русла рек, ущелья, пространства между горами, гористая линия и прочее). Эти радиолокационные датчики должны обеспечить автоматическое обнаружение, определение координат и параметров движения летательного аппарата, распознавание класса аэродинамического летательного аппарата (винтовой самолет, вертолет, беспилотный аппарат).

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы**

Актуальность темы магистерской диссертации обусловлена существующей потребностью народного хозяйства в эффективных средствах обнаружения нарушителей границ, использующих предельно малые высоты. Данные средства должны автоматически решать задачи обнаружения, определения координат и измерения параметров движения вертолета, построения радиолокационного портрета (РЛП) винтов вертолета. Благодаря использованию радиолокационного диапазона, эти средства могут работать в любых погодных условиях и независимо от времени суток. Требование электромагнитной совместимости и низкой мощности излучения приводит к необходимости использования узкополосных зондирующих сигналов, а требование получения высококачественного портрета винтов вертолета при условии небольших дальностей наблюдения - к использованию метода обращенного синтеза апертуры (ОСА) антенны, обеспечивающего сверхразрешение объектов.

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертационной работы являются:

- разработка моделей сигналов, отраженных от вертолета;
- разработка алгоритмов обработки сигналов, отраженных от вертолета, обеспечивающих получение высококачественных РЛП винтов вертолета.

Для достижения этой цели в работе решались следующие задачи:

- разработка математических моделей сигналов, отраженных от вертолета;
- разработка алгоритма обработки принятого сигнала, обеспечивающего обращенный синтез апертуры антенны с полной фокусировкой и формирование РЛП несущего (НВ) и рулевого (РВ) винтов вертолета;

- исследование влияния ошибки определения дальности и оценки некоторых параметров движения на качество формирования РЛП;
- исследование влияния сигнала, отраженного от корпуса на каналы построения РЛП несущего и рулевого винтов;
- разработка и исследование алгоритма когерентной компенсации сигнала, отраженного от корпуса вертолета.

#### **Объект и предмет исследования**

Объект исследования – радиолокационные датчики наблюдения воздушных объектов, использующих предельно малые высоты.

Предмет исследования – обращенный синтез апертуры антенны, обеспечивающий сверхразрешение воздушных объектов в азимутальной плоскости.

#### **Методология и методы проведенного исследования**

Для решения задач диссертационной работы применялись методы математического описания, элементы теории статистической радиотехники, теории принятия решений и статистического моделирования.

#### **Научная новизна и значимость полученных результатов**

1. Предложена математическая модель временной структуры сигнала, отраженного от НВ и РВ вертолета, отличающаяся от известных учетом разной формы представления лопасти (три варианта представления лопасти). Использование данной модели для разработки обращенного синтеза апертуры антенны позволяет повысить качество сверхразрешения вертолета в азимутальной плоскости.

2. Разработан подход к анализу спектрально-временной структуры радиолокационных сигналов, отраженных от вертолета, который основан на аналитическом исследовании производных закона изменения фазы сигнала. Анализ параметров этих производных позволяет выбрать варианты обращенного синтеза апертуры антенны, которые удовлетворяют соответствующему критерию «требуемая эффективность - стоимость».

3. Проведенные исследования влияния ошибки оценки основных параметров движения вертолета (скорость, дальность) на качество формирования РЛП позволяют определить диапазон возможных погрешностей при разработке алгоритмов ОСА.

#### **Практическая значимость полученных результатов**

1. Предложенная модель временной структуры сигнала, отраженного от вертолета, позволяет разработать алгоритмы обращенного синтеза апертуры антенны. Предполагается, что этот алгоритм позволяет в дальнейшем решать задачу распознавания классов ЛА;

2. Результаты анализа спектрально-временной структуры сигнала, отраженного от вертолета, позволяют обоснованно выбрать алгоритм обращенного синтеза апертуры антенны. Эти результаты также могут быть использованы для оптимизации геометрических параметров взаимного расположения радиолокатора относительно линии, по которой перемещается объект.

3. Результаты исследований влияния ошибки оценки основных параметров движения вертолета на качество формирования азимутального РЛП позволяют обосновать требования в качестве функционирования цепей адаптации к априорно неизвестным параметрам и обоснованно определить их структуры.

**Экономическая значимость полученных результатов состоит в следующем:**

1. Полученные результаты позволяют создать радиолокационные датчики, эффективность которых сопоставима или превышает эффективность современных радиолокаторов ближнего действия. При этом стоимость таких датчиков в 5...7 раз меньше стоимости современных автоматических радиолокаторов ближнего действия. Производство таких датчиков позволит обеспечить силовые структуры эффективными средствами автоматического обнаружения – классификации ЛА.

2. Высокая эффективность радиолокационных датчиков, которые могут быть созданы на основе результатов исследований, при их сравнительно невысокой стоимости позволит продавать их на внешнем рынке с высоким доходом для государства.

#### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту**

1. Математические модели временной структуры сигнала, отраженного от НВ и РВ вертолета, отличающаяся от известных учетом разной формы представления лопасти (три варианта представления лопасти);

2. Результаты анализа спектрально-временной структуры радиолокационных сигналов, отраженных от вертолета, основанного на аналитическом исследовании производных закона изменения фазы сигнала, отраженного от движущегося наземного объекта, и обеспечивающего определение оптимального ракурса наблюдения объекта, при котором обеспечивается наилучшее радиолокационное разрешение;

3. Результаты формирования РЛП винтов вертолета.

#### **Апробация результатов диссертации**

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: 52-ой научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов БГУИР, Минск, Беларусь, 2016 г..

### **Опубликованность результатов**

Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 1 печатной работе общим объемом 2 страницы, в том числе: 1 тезис доклада в сборниках конференций.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из титульного листа, оглавления, перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, трех глав, заключения и списка использованных источников из 29 наименований. Полный объем диссертационной работы составляет 71 страница.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из титульного листа, оглавления, перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, трех глав, заключения и списка использованных источников из 29 наименований. Полный объем диссертационной работы составляет 71 страница.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**В первой главе** проведен обзор существующих и возможных методов и средств для обеспечения сверхразрешения. К этим средствам относятся и РЛС с прямым синтезированием апертуры антенны, разработкам которых посвящены работы многих ученых, включая Реутова А.П., Буренина Н.И., Кондратенкова Г.С.. Анализ результатов обзора показал, что в радиолокационном диапазоне возможно построение радиолокационного изображения с использованием широкополосных сигналов, обеспечивающих сверхразрешение по радиальной дальности, прямого и обращенного синтеза апертуры антенны, обеспечивающего сверхразрешение по азимуту. Получение сверхразрешения по дальности является сложной трудоемкой технологической задачей, а сверхразрешение по азимуту можно получить в дешевом малогабаритном РЛД с обращенной синтезированной апертурой. Анализ закономерностей для построения РЛИ летательных аппаратов с винтами. Показаны основные параметры, требуемые при разработке специального алгоритма обращенного синтеза апертуры для построения РЛИ винтов летательного аппарата.

**В второй главе** разработаны модели движения вертолета и математические модели сигнала, отраженного от вертолета. Модель вертолета, которая представлена совокупность равномерно расставленных фацетов, позволяет исследовать временные и спектральные характеристики сигналов, отраженных от корпуса, несущего и рулевого винтов вертолета. Модель достаточно простая, однако при проведении данных исследований дает сравнительно высокую точность получения исследуемых характеристик при определении основных закономерностей формирования портрета вертолета с

несущим и рулевым винтами. По полученным результатам можно определить базовые частоты вращения несущего и рулевого винтов. По АКФ сигналов лучше определить базовые частоты вращения по сравнению с использованием спектров сигнала.

Анализ полученных результатов позволяет отметить следующее:

- временная спектральная структуры сигнала, отраженного от винта вертолета, зависит от частоты вращения винта  $F_V$ , количества лопастей  $N_{L-V}$  и длины одной лопасти;
- базовая частота определяется произведением количества лопастей и частоты вращения  $N_{L-V}F_V$ ;
- можно определить базовую частоту либо по спектральной структуре либо по автокорреляционной функций, период повторения которой равен  $1/N_{L-V}F_V$ .

**В третьей главе** разработаны алгоритмы синтезирования апертуры антенны с полной фокусировкой. Показано, что фокусировка синтезированной апертуры антенны необходима для компенсации размывания портрета по элементам разрешения и улучшения качества формирования азимутального РЛП объектов. Разработаны алгоритмы обращенного синтеза апертуры антенны с полной фокусировкой для построения РЛП корпуса, несущего и рулевого винтов вертолета.

Исследования алгоритмов ОСА при разных формах представления лопасти и оценивание информативности полученных РЛП выполнено путем моделирования. Результаты моделирования показали, что по полученным результатам можно определить количество лопастей, оценить ширину лопасти. Эти результаты могут использоваться для распознавания класса вертолета.

Исследованы влияния сигнала, отраженного от корпуса, на каналы построения РЛП несущего и рулевого винтов путем математического моделирования. Результаты моделирования показывают, что сигнал, отраженный от корпуса, сильнее влияет на построение РЛП несущего винта, чем на построение РЛП рулевого винта. Качество РЛП несущего винта ухудшается при попадании в каналы обработки сигнала корпуса с мощностью, равной сумме мощностей отраженных сигналов от несущего и рулевого винтов. Качество РЛП рулевого винта ухудшается при мощности сигнала корпуса в 10 раз большее мощности сигнала от этого винта.

Исследование работоспособности алгоритма адаптивной компенсации сигнала корпуса проведено путем математического моделирования. Результаты моделирования показали, что алгоритм эффективен и существенно улучшает качество построения РЛП несущего и рулевого винта. После компенсации путем четырехкратного вычитания РЛП несущего винта уже имеет приемлемое качество.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследований предложены три математические модели сигнала, отраженного от НВ и РВ для разных форм представления лопасти, алгоритмы обращенного синтеза апертуры антенны для получения радиолокационных портретов корпуса, НВ и РВ вертолета. Разработанные модели сигнала, отраженного от корпуса, НВ и РВ вертолета, представленного в виде совокупности изотропных отражателей (фацетов), равномерно расположенных вдоль длины. Эти модели позволили исследовать временные и спектральные характеристики сигналов, отраженных от вертолета. Данные модели могут быть положены в основу обращенного синтеза апертуры антенны применительно к решению задачи построения РЛП летательного аппарата с винтами. В работе путем моделирования исследовано влияние ошибок измерения некоторых параметров движения объекта на сверхразрешение и качество формирования РЛП.

Результаты исследований, проведенных в ходе работы, подтвердили возможность построения РЛП вертолета с винтами и дальнейшее его использование для распознавания класса летательного аппарата. Эти результаты также показали, что качество формирования РЛП зависит от точности определения ракурса наблюдения, абсолютной скорости движения объекта  $V_r$  и дальности до объекта.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

### *Статьи в материалах конференций*

1. Нгуен, Т.Т. Математические модели радиолокационного сигнала, отраженного от винта вертолета/ Т.Т. Нгуен// Радиотехнические системы: материалы 52-й научной конференции аспирантов, магистрантов, студентов БГУИР, Минск, Беларусь, 25 – 30 апреля 2016г. – с.56-57.