

Занятие 11. Обработка радиолокационной информации.

Введение

Основной задачей радиолокации является сбор и обработка информации относительно зондируемых объектов. В многопозиционных наземных РЛС, как нам известно, вся обработка радиолокационной информации подразделяется на три этапа. *Первичная обработка* заключается в обнаружении сигнала цели и измерении ее координат с соответствующими качеством или погрешностями. *Вторичная обработка* предусматривает определение параметров траектории каждой цели по сигналам одной или ряда позиций МПРЛС, включая операции отождествления отметок целей. При *третичной обработке* объединяются параметры траекторий целей, полученных различными приемными устройствами МПРЛС с отождествлением траекторий.

Содержание данных этапов свидетельствует об их важности и необходимости для создания полной картины о воздушной обстановке. Поэтому рассмотрение сущности всех видов обработки радиолокационной информации является весьма актуальным.

Для достижения поставленных целей рассмотрим следующие вопросы:

1. Первичная обработка радиолокационной информации.
2. Вторичная обработка радиолокационной информации.
3. Третичная обработка радиолокационной информации.

Данный учебный материал можно найти в следующих **источниках**:

1. Бакулев П.А. Радиолокационные системы: Учебник для вузов. – М.: Радиотехника, 2004.
2. Белоцерковский Г.Б. Основы радиолокации и радиолокационные устройства. – М.: Советское радио, 1975.

1. Первичная обработка радиолокационной информации.

Для автоматизации процессов управления авиацией необходимо иметь исчерпывающую и непрерывно обновляющуюся информацию о координатах и характеристиках воздушных целей. Эту информацию в автоматизированных системах управления (АСУ) получают с помощью средств, входящих в подсистему сбора и обработки радиолокационной информации (РЛИ), а именно: постов и центров обработки РЛИ, авиационных комплексов радиолокационного дозора и наведения. Основными средствами получения сведений о воздушных целях являются РЛС. Процесс получения сведений об объектах, находящихся в зоне видимости РЛС, называется обработкой РЛИ. Такая обработка позволяет получать данные о координатах цели, параметрах ее траектории, времени локации и др. Совокупность сведений о цели условно называют отметкой. В состав отметок, кроме указанных выше данных, могут входить сведения о номере цели, ее государственной принадлежности, количестве, типе, важности и др.

Сигналы, которые несут необходимую для оператора информацию, называют полезными, но на них, как правило, обязательно накладываются помехи, искажающие информацию. В связи с этим в процессе обработки возникают задачи выделения полезных сигналов и получения необходимых сведений в условиях помех.

Обработка информации основывается на существовании различий между полезным сигналом и помехой. Весь процесс обработки РЛИ можно разделить на три основных этапа: первичную, вторичную и третичную обработку.

На этапе первичной обработки РЛИ цель обнаруживают и определяют ее координаты. Первичная обработка осуществляется по одной, но чаще по нескольким смежным разверткам дальности. Этого хватает для обнаружения цели и определения ее координат. Таким образом, первичной обработкой

РЛИ называется обработка информации за один период обзора РЛС. В состав первичной обработки РЛИ включают:

- обнаружение полезного сигнала в шумах;
- определение координат цели;
- кодирование координат цели;
- присвоение номеров целям.

До недавнего времени эту задачу решал оператор РЛС. Но в настоящее время в реальных условиях слежения по индикаторам за многими целями, движущимися с большими скоростями, человек – оператор не в состоянии оценивать многообразие воздушной обстановки, пользуясь только визуальным способом. В связи с этим возникла проблема передачи части или всех функций человека – оператора при обработке РЛИ вычислительным средствам, которые были созданы на объектах АСУ авиацией.

Первичная обработка РЛИ начинается с обнаружения полезного сигнала в шумах. Этот процесс складывается из нескольких этапов: обнаружение одиночного сигнала; обнаружение пакета сигналов; формирование полного пакета сигналов; определение дальности до цели и ее азимута. Все эти этапы реализуются с использованием оптимальных алгоритмов, основанных на критериях минимума ошибок принятия решения и результатов измерения.

Таким образом, операции, производимые при первичной обработке, может производить РЛС самостоятельно.

2. Вторичная обработка радиолокационной информации.

Единичная отметка от цели лишь приближенно отражает истинное положение цели в момент локации. По ней еще нельзя принять достоверного решения об обнаружении цели, тем более судить о параметрах движения цели. В связи с этим становится очевидным, что первичная обработка не дает исчерпывающей информации о целях, находящихся в зоне обзора РЛС. Чтобы принять правильное решение о наличии цели и определить параметры ее движения, необходимо проанализировать информацию, полученную за несколько периодов обзора. Именно так и поступает оператор, наблюдающий за экраном индикатора. Если в какой-либо точке экрана появилась одиночная отметка, оператор фиксирует ее как возможную цель. Если в следующем обзоре отметка появилась вновь и, кроме того, сдвинулась на некоторое расстояние, то уже имеется основание для принятия решения об обнаружении цели. Одновременно можно определить направление и скорость движения цели. Операции, выполняемые оператором, могут быть формализованы, а их выполнение возложено на специализированную ЭВМ. При этом возможны полуавтоматическая и автоматическая системы обработки информации.

Автоматическая или полуавтоматическая обработка информации, полученной за несколько периодов обзора РЛС с целью обнаружения и непрерывного сопровождения траекторий целей, называется вторичной обработкой радиолокационной информации.

Она включает в себя следующие операции:

определение параметров движения целей (курс, скорость, ускорение и т. д.) по данным, полученным за несколько обзоров РЛС;

выделение области пространства, в которой с некоторой вероятностью ожидается появление отметки в следующем обзоре (экстраполяция отметок);

сличение экстраполированных координат с вновь полученными и привязка новой отметки к траектории цели (продолжение траектории).

Основными данными, *определяющими траекторию движения цели*, являются пространственные координаты отметок цели, изменение которых соответствует закону движения цели в пространстве. Траектория движения цели зависит от многих факторов и условий, таких, как тип цели, высота полета, скорость, маневренные возможности и т. п. Кроме того, на траекторию полета оказывает влияние целый ряд случайных факторов, под которыми подразумеваются все причины, искажающие траекторию или затрудняющие ее обнаружение и воспроизведение.

Перечисленные и некоторые другие факторы вынуждают отнести движение целей к категории процессов со случайно изменяющимися во времени параметрами. Очевидно, для статистического описания таких процессов необходимо знать законы распределения вероятности параметров, определяющих эти процессы. Однако практически таких законов получить не удастся, поэтому приходится задаваться некоторыми гипотезами о статистических характеристиках обрабатываемых сигналов, т.е. исходить из более или менее правдоподобной статистической модели движения цели.

Если устройство предназначено для обработки траекторий самолетов или крылатых ракет, то модели их движения представляют собой совокупность участков с прямолинейным и равномерным движением и участков маневра. Для такого рода устройств за основу может быть взята полиномиальная модель движения. Она основана на представлении процесса изменения координат цели на ограниченном участке наблюдения в виде полинома степени n относительно времени:

$$y(t) = \sum_{i=0}^n b_i t^i = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + \dots + b_n t^n, \quad (5.1)$$

где b_i – коэффициент, определяющий параметры траектории, на которые накладываются те или иные ограничения.

Исходя из характера движения целей, формируются три основных требования к системам автосопровождения:

на участках прямолинейного полета и на участках маневра гипотезы о характере изменения координат во времени должны быть различными;

на участке прямолинейного полета изменение координат во времени проще описывать полиномами первой степени

$$x(t) = x_0 + v_x t; \quad y(t) = y_0 + v_y t; \quad H(t) = H_0 + v_H t; \quad (5.2)$$

на участке маневра процесс изменения координат во времени лучше всего описывать полиномами второй степени

$$x(t) = x_0 + v_x t + \frac{a_x}{2} t^2; \quad y(t) = y_0 + v_y t + \frac{a_y}{2} t^2; \quad H(t) = H_0 + v_H t + \frac{a_H}{2} t^2, \quad (5.3)$$

где a_x, a_y, a_H – ускорения по каждой координате.

Процесс вторичной обработки разбивается на два самостоятельных этапа: обнаружение траекторий и слежение за траекториями.

Автоматическое обнаружение является начальным моментом вторичной обработки. Пусть появилась одиночная отметка № 1 от цели. Она принимается за начальную отметку траектории. В следующем обзоре вторую отметку, принадлежащую той же траектории, следует искать в некоторой области, заключенной внутри кольца и имеющую площадь

$$S_1 = \pi T_0^2 (v_{u_{\max}}^2 - v_{u_{\min}}^2), \quad (5.4)$$

где T_0 – период обзора РЛС; $v_{u_{\min}}, v_{u_{\max}}$ – возможные минимальная и максимальная скорости цели.

В область S_1 может попасть не одна, а несколько отметок, и каждую из них следует считать как возможное продолжение предполагаемой траектории. По двум отметкам вычисляются скорость и направление движения каждой из предполагаемых целей, а затем экстраполируется положение отметки на следующий обзор. Вокруг экстраполируемых отметок образуются круговые области S_2 . Если в какую-либо область S_2 в третьем обзоре попала отметка, она считается принадлежащей к обнаруживаемой траектории, траектория продолжается, и отметка передается на сопровождение.

Операции, которые выполняются при автообнаружении, сводятся к экстраполяции координат, их сглаживанию и стробированию отметок.

Процесс экстраполяции состоит в том, что по координатам ранее полученных отметок вычисляются координаты будущей отметки. Экстраполяция требует знания закономерностей движения цели, на основе которых прокладывается траектория.

Слежение за траекториями целей заключается в непрерывной привязке вновь полученных отметок к своим траекториям, в сглаживании координат и вычислении параметров движения целей. Если слежение производится автоматически, то его называют автосопровождением.

Пусть в n смежных обзорах РЛС получены отметки, создающие траекторию полета цели (рис. 5.1). Сначала производится сглаживание координат и вычисление параметров траектории, которые выдаются потребителю.

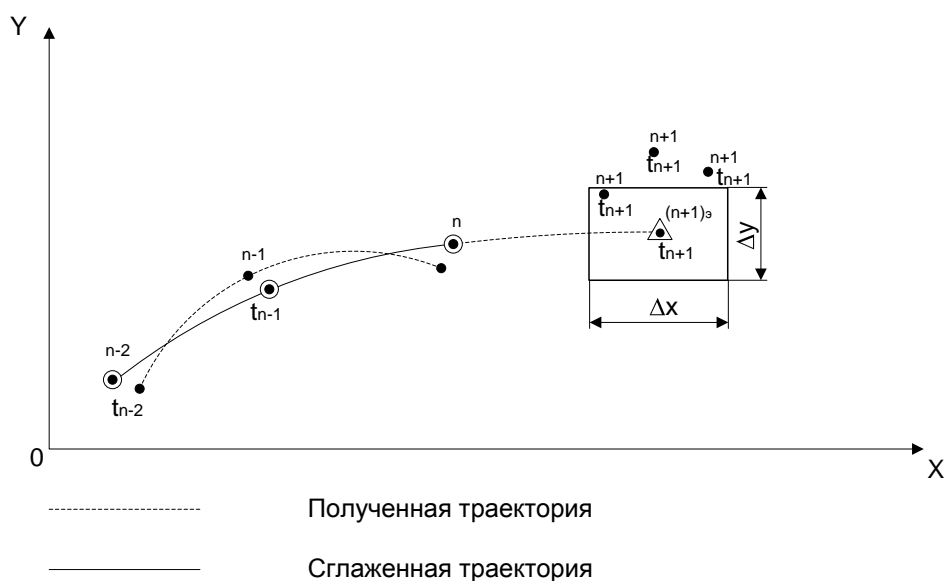


Рис. 5.1. Получение траектории цели

Если в $(n+1)$ -м обзоре получено несколько отметок, то необходимо определить, какая из них принадлежит данной траектории. Используя данные известных $(n-2)$, $(n-1)$ и n -го обзоров, и, экстраполируя на один обзор вперед,

можно предсказать положение $(n+1)$ -й отметки траектории $(n+1)_3$. Как правило, эта рассчитанная отметка не совпадает ни с одной из вновь полученных. Если известны статистические характеристики ошибок измерения координат и заданы вероятностные характеристики степени достоверности полученного решения, то можно выделить вокруг экстраполированной отметки область, например, в виде прямоугольника со сторонами Δx и Δy , которую принято называть стробом. Координаты центра строба совпадают с координатами экстраполированной отметки. Если размеры строба выбраны так, что вероятность попадания в него истинной отметки велика, то отметку, попавшую в строб, следует отнести к данной траектории.

Таким образом, в процессе автосопровождения выполняются следующие операции:

сглаживание координат и определение параметров траектории;

экстраполяция координат цели на следующий обзор или на несколько обзоров вперед;

выделение строба, в котором с некоторой вероятностью ожидается появление новой отметки;

сличение координат экстраполированной отметки с координатами отметок, попавших в строб, и выбор одной из них для продолжения траектории.

Стробирование может быть физическим и математическим. Физическое стробирование – это выделение предполагаемой области появления отметки, принадлежащей сопровождаемой траектории, путем непосредственного воздействия на приемное устройство РЛС. Математическое стробирование – это формирование предполагаемой области появления отметки в виде границ строба. Строб может задаваться в полярной и прямоугольной системах координат.

Задача селекции отметок, т.е. выбора единственной отметки из всех имеющихся в стробе, решается путем вычисления квадратов линейных

отклонений отметок от центра и сравнению результатов с целью выбора минимального.

Таким образом, если при первичной обработке из смеси сигнала с шумом на основе статистического различия структуры сигнала и шума выделяется полезная информация, то вторичная обработка, используя различия в закономерностях появления ложных отметок и отметок от целей, должна обеспечить выделение траекторий движущихся целей. Траектория движения цели представляется в виде последовательности полиномиальных участков с различными коэффициентами и степенями полиномов, т.е. система обработки должна перестраиваться в соответствии с характером движения каждой цели.

3. Третичная обработка радиолокационной информации.

Системы управления боевыми действиями авиации, кроме рассмотренных выше задач по обработке информации, поступающей от одной РЛС, решают еще одну задачу, которая связана с объединением информации о целях, полученных от нескольких РЛС или первичных постов обработки РЛИ, и созданием общей картины воздушной обстановки.

Обработку РЛИ, поступающей от нескольких источников, условились называть третичной обработкой информации (ТОИ).

Ввиду того, что зоны обзора РЛС или зоны ответственности постов обычно перекрываются, сведения об одной и той же цели могут поступать одновременно от нескольких станций. В идеальном случае такие отметки должны накладываться одна на другую. Однако на практике этого не наблюдается из-за систематических и случайных ошибок в измерении координат, различного времени локации, а также из-за ошибок пересчета координат между точками стояния источника и приемника информации.

Главной задачей третичной обработки является решение вопроса, сколько целей находится в действительности в зоне ответственности. Для решения этой задачи необходимо выполнить следующие операции:

произвести сбор донесений от источников;

привести отметки к единой системе координат и единому времени отсчета;

установить принадлежность отметок к целям, т.е. решить задачу отождествления отметок;

выполнить укрупнение информации.

Для решения этих задач используются все характеристики целей. Устройства третичной обработки реализуются на специализированных ЭВМ с полной автоматизацией всех выполняемых операций. Однако иногда для упрощения автоматических устройств некоторые операции ТОИ могут производиться по командам и с участием оператора. В частности, таким образом выполняются операции отождествления и укрупнения.

Третичная обработка является завершающим этапом получения информации о воздушной обстановке.

Донесением о целях принято называть информацию, содержащую сведения о местоположении целей, об их характеристиках, выдаваемую от источников по каналам связи для ее дальнейшей обработки и использования. Задача *сбора донесений* заключается в том, чтобы принять возможно больше информации при минимальных потерях.

Каждое поступающее на вход донесение должно быть обработано, на что требуется некоторое время. Пусть в момент поступления донесения производится обработка предыдущего донесения. В этом случае поступившее донесение может либо покинуть систему необработанным, либо ждать своей очереди на обслуживание, пока система не освободится, либо ожидать обработки строго ограниченное время. В соответствии с этим все системы массового обслуживания разделяются на системы с отказами, системы с ожиданием и системы с ограниченным ожиданием (смешанного типа). На практике получили распространение системы смешанного типа с временем ожидания, выбранным из условия наилучшей обработки.

Координаты целей измеряются в системе координат обнаружившей их РЛС, поэтому при передаче данных на пункт ТОИ необходимо *пересчитать их к точке стояния приемника информации*. В качестве единой системы координат могут использоваться геодезическая, полярная или прямоугольная системы координат. Наиболее точной является геодезическая, однако расчеты в ней сложны. Поэтому она используется лишь тогда, когда источники и приемники информации находятся на больших расстояниях друг от друга и велик фактор кривизны Земли. В остальных случаях пользуются полярной или прямоугольной системами координат с поправкой по высоте. Расчеты в этих системах достаточно просты и приемлемы для решения целого ряда практических задач.

В АСУ передача координат целей обычно осуществляется в прямоугольной системе координат. На пункте обработки также используется

прямоугольная система. Следовательно, задача сводится к преобразованию прямоугольных координат целей относительно точки стояния источника в прямоугольные координаты относительно точки стояния пункта обработки.

К единому времени отсчета приводятся отметки, полученные на пункте ТОИ от разных источников. Единое время необходимо для того, чтобы определить положение обрабатываемых отметок по состоянию на какой-то один момент времени. Эта операция значительно облегчает задачу отождествления отметок.

Координаты отметок приводятся к единому времени путем определения для каждой отметки времени экстраполяции относительно заданного момента сравнения. Учитывая сравнительно высокий темп обновления информации, целесообразно при экстраполяции принимать гипотезу равномерного и прямолинейного изменения координат.

Все источники РЛИ обрабатывают информацию автономно и независимо друг от друга. За счет перекрытия зон ответственности в составе донесений могут быть дублирующие донесения, полученные от нескольких источников по одной и той же цели.

В процессе *отождествления отметок целей* вырабатывается решение, устанавливающее:

сколько целей имеется в действительности, если донесения о них поступают от нескольких источников;

как распределяются поступившие донесения по целям.

Обычно отождествление выполняется в два этапа. Сначала производится грубое отождествление или сравнение отметок, а затем проводится распределение отметок, позволяющее принять более точное решение на отождествление.

В основе этапа сравнения лежит предположение, что донесения об одной и той же цели должны содержать одинаковые характеристики. В силу этого решение о тождественности отметок принимают на основании сравнения характеристик. Однако в действительности из-за различных

ошибок полного совпадения характеристик не бывает. В результате возникает неопределенность, выражаемая двумя конкурирующими гипотезами:

1. Гипотеза H_1 предполагает, что отметки от одной и той же цели, хотя произошло несовпадение.

2. Гипотеза H_2 предполагает, что отметки от разных целей, поэтому произошло несовпадение.

Решение на выбор той или иной гипотезы принимается на основании оценки величины несовпадения и использования критерия минимума ошибки принятия решения.

На этапе распределения для группирования отметок по отдельным целям используются признаки их принадлежности к источникам информации и нумерации целей в системе этих источников. Правила логического группирования отметок в соответствии с принадлежностью донесений о целях к источникам информации формулируются следующим образом.

1. Если в области допустимых отклонений получены отметки от одного и того же источника, то число целей равно числу отметок, так как одна станция в один и тот же момент времени не может выдавать от одной цели несколько отметок.

2. Если в области допустимых отклонений от каждого источника получено по одной отметке, то считается, что эти отметки относятся к одной и той же цели.

3. Если от каждой станции получено по равному числу отметок, то очевидно, что число целей равно числу отметок, полученных от одной станции, ибо маловероятно, чтобы в пределах небольшой области станция обнаруживала только свои цели и не обнаруживала цель, которую наблюдает соседняя станция.

4. Если от нескольких источников поступило неодинаковое количество отметок, принимается, что источник, от которого получено наибольшее количество отметок, дает наиболее вероятную обстановку. При этом общее

количество целей определяется числом отметок, принятых от указанного источника.

Таким образом, обработка донесений в группе состоит в группировании отметок от нескольких источников к одной цели. Эта задача решается сравнительно просто при использовании первого и второго правила и значительно труднее при применении третьего и четвертого.

По гипотезе третьего правила имеем две цели, к каждой из которых относится по одному донесению от каждого источника. Необходимо определить, какие пары отметок относятся к каждой цели. Наиболее правдоподобный вариант выбирается в результате сравнения сумм квадратов расстояний между отметками. Принимается та комбинация, для которой эта сумма минимальна.

Приведенные правила сравнения и распределения отметок не единственные, и в зависимости от требуемой точности могут быть усложнены или упрощены.

После отождествления сведения о цели выражаются группой отметок, полученных от нескольких источников. Для формирования одной отметки с более точными характеристиками координаты и параметры траектории усредняются.

Простейший способ усреднения заключается в том, что вычисляется среднее арифметическое координат. Этот способ достаточно прост, но он не учитывает точностных характеристик источников информации. Более правильным является усреднение отметок целей с учетом коэффициента веса отметок, а коэффициент выбирается в зависимости от точности источника. И наконец, в качестве усредненных можно взять ординаты отметки, полученные от одного источника, если имеются данные, что этот источник выдает наиболее точную информацию.

Укрупнение (группирование) отметок целей проводится в тех пунктах обработки, где не требуется информация по каждой цели или же плотность поступления отметок от целей оказывается выше рассчитанной пропускной

способности. Обычно группирование производится на высших инстанциях системы управления.

Группирование осуществляется теми же способами, что и отождествление, и ведется по признаку близости координатных описаний группируемых объектов. Для этого формируется строб по тем координатам, которые назначаются как характерные для группы целей. Координаты центра stroba распространяются на всю группу. Обычно делается так, что центр stroba совпадает с отметкой головной цели в группе. Размеры stroba определяются, исходя из навигационных и тактических требований. Обычно используется полуавтоматический метод укрупнения, который включает в себя следующие основные этапы:

1. Выделение компактных групп целей на основе близости координат x , y , H . Оператор визуально определяет компактную группу целей по координатам, выделяет головную цель, назначает один из stroboв укрупнения и вводит в ЭВМ номер stroba и головной цели. На основе этой информации ЭВМ завершает процесс выделения компактной группы.

2. Селекция внутри выделенных групп по скорости. Цель остается в составе укрупненной цели, если:

$$\begin{aligned} |v_x - v_{x2}| &\leq \Delta v \quad ; \\ |v_y - v_{y2}| &\leq \Delta v \quad . \end{aligned} \tag{5.5}$$

где v_{x2} , v_{y2} – составляющие скорости головной цели; Δv – порог селекции по скорости.

3. Определение характеристик укрупненной цели. Укрупненной цели присваивается количественный состав, и формируется обобщенный признак действия.

4. Корректировка решения оператора. Ввиду того что обстановка в воздухе меняется, имеется возможность скорректировать данные укрупненной цели путем ее укрупнения, разукрупнения, отукрупнения ил и приукрупнения.

5. Сопровождение укрупненной цели. Эта операция осуществляется автоматически ЭВМ. При этом производится корректировка координат, обеспечивается выбор головной цели при исчезновении информации о старой головной цели.

Таким образом, в процессе ТОИ производится сбор донесений от источников, приведение отметок к единой системе координат и единому времени отсчета, установление принадлежности отметок к целям (отождествление отметок) и выполнение укрупнения информации.

Заключение

1. Операции, производимые при первичной обработке, может производить РЛС самостоятельно.

2. Если при первичной обработке из смеси сигнала с шумом на основе статистического различия структуры сигнала и шума выделяется полезная информация, то вторичная обработка, используя различия в закономерностях появления ложных отметок и отметок от целей, должна обеспечить выделение траекторий движущихся целей.

3. Траектория движения цели представляется в виде последовательности полиномиальных участков с различными коэффициентами и степенями полиномов, т.е. система обработки должна перестраиваться в соответствии с характером движения каждой цели.

4. В процессе ТОИ производится сбор донесений от источников, приведение отметок к единой системе координат и единому времени отсчета, установление принадлежности отметок к целям (отождествление отметок) и выполнение укрупнения информации.

Контрольные вопросы:

1. Назначение и содержание первичной обработки радиолокационной информации.

2. Назначение и содержание вторичной обработки радиолокационной информации.

3. Определение параметров движения целей в процессе вторичной обработки радиолокационной информации.

4. Экстраполяция отметок в процессе вторичной обработки радиолокационной информации.

5. Продолжение траектории движения в процессе цели вторичной обработки радиолокационной информации.

6. Назначение и содержание третичной обработки радиолокационной информации.

7. Сбор донесений в процессе цели третичной обработки радиолокационной информации.

8. Приведение отметок целей к единой системе координат и единому времени отсчета в процессе цели третичной обработки радиолокационной информации.

9. Отождествление отметок целей в процессе цели третичной обработки радиолокационной информации.

10. Укрупнение информации в процессе цели третичной обработки радиолокационной информации.

Задание на самостоятельную подготовку:

1. Изучить материалы лекции.
2. Подготовиться к контрольной работе по контрольным вопросам.

Литература:

1. Бакулев П.А. Радиолокационные системы: Учебник для вузов. – М.: Радиотехника, 2004.
2. Белоцерковский Г.Б. Основы радиолокации и радиолокационные устройства. – М.: Советское радио, 1975.