

Антропов Вадим Вадимович

аспирант

Мазаков Евгений Борисович

канд. техн. наук, заведующий кафедры

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский

горный университет»

г. Санкт-Петербург

DOI 10.21661/r-115874

АЛГОРИТМ ВТОРИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ТРАЕКТОРНОМ РАСПОЗНАВАНИИ

***Аннотация:** в статье рассматривается проблематика работы с данными, полученными от аппаратуры РЛС. Отмечено, что в работе большинства РЛС обработку радиолокационной информации делят на три составляющие. Первичная обработка состоит в получении сигнала воздушного объекта (ВО) и измерении его координат. Вторичная обработка информации определяет параметры траектории каждого ВО по нескольким сигналам за определённый период времени. При третичной обработке объединяются параметры траекторий целей с отождествлением, полученных ранее или, так называемых, эталонных траекторий.*

***Ключевые слова:** вторичная обработка информации, доэкстраполяция, экстраполяция.*

В современном мире вклад авиации трудно переоценить. Авиация перемещает миллионы пассажиров в год, миллионы тон грузов, выполняет задачи пожаротушения, задачи спасения людей, различного вида поиска и другие не менее важные задачи в жизни людей. Большой проблемой стало и обеспечение авиации. Ежегодно увеличивающийся авиапоток усложняет контроль воздушной обстановки, что задаёт новые требования для радиолокации.

Рассмотрим траекторную радиолокацию. Задача радиолокации собрать и обработать информацию о воздушной обстановке в нужной нам области. В работе большинства РЛС обработку радиолокационной информации делят на три составляющие. Первичная обработка состоит в получении сигнала воздушного объекта (ВО) и измерении его координат. Вторичная обработка информации определяет параметры траектории каждого ВО по нескольким сигналам за определённый период времени. При третичной обработке объединяются параметры траекторий целей с отождествлением, полученных ранее или, так называемых, эталонных траекторий. На вторичной обработке информации остановимся подробнее.

Для вторичной обработки радиолокационной информации характерны использование статистических методов обработки, работа с большими массивами данных и режим вычислений в реальном или квазиреальном времени. Задачи такого класса, как известно, требуют существенных вычислительных ресурсов. При обслуживании большого количества ВО, в условиях воздействия радиоэлектронных помех, поток входной информации содержит координаты точки (КТ), иницируемые как ВО, находящимися в зоне обзора РЛС, так и влиянием шума, ложных отражений или помех, которые не были устранены в процессе первичной обработки сигналов. Очевидно, что в подобной ситуации велика вероятность того, что имеющихся вычислительных ресурсов окажется недостаточно для выполнения задач вторичной обработки информации (ВОИ). Следовательно, алгоритмы ВОИ должны иметь рациональную организацию, как всего процесса обработки, так и отдельных его фаз, прежде всего, процедур селекции, суть которых и заключается в ограничении потока входных данных для последующих этапов.

Принципиально в системе сопровождения ВО могут быть выделены три класса траекторий: стационарные, сопровождаемые, предварительные. Стационарные траектории обусловлены не устраняемыми в процессе первичной обработки отражениями от местных предметов, так как их положение от обзора к обзору изменяется незначительно. Траектория считается сопровождаемой, если

она сопровождается и при этом кинематические параметры ВО оцениваются с достаточной точностью. Термин «предварительная» относится к начальной фазе, этапу завязки и подтверждения траектории. Такое разделение траекторий на классы связано с отличиями в конкретной реализации общих для них всех стадий обработки:

- завязка траекторий;
- установление корреляционных связей между координатами точек (КТ) и трассами;
- фильтрация траекторий;
- экстраполяция траекторий;
- прекращение сопровождения.

Координатная обработка в процессе ВОИ с точки зрения организации ее выполнения в части предварительных и сопровождаемых трасс условно можно разделить на два этапа: предварительной и окончательной обработки.

Этап предварительной обработки. На этапе предварительной обработки решаются следующие задачи:

- определение номеров азимутальных секторов, которым принадлежат поступившие КТ;
- стробирование экстраполированных точек (ЭТ) сопровождаемых трасс относительно поступившей КТ и составление списка их предварительного сличения – грубое сличение;
- стробирование поступившей КТ относительно ЭТ сопровождаемых трасс из списка предварительного сличения – точное сличение;
- составление групп КТ;
- обработка сообщения первого ввода.

Определение возможной принадлежности КТ к ЭТ трасс требует приведения их параметров к единому времени и к единой системе координат. Первая процедура связана с доэкстраполяцией, по крайней мере, координат ЭТ, а вторая носит, в основном, характер тригонометрических преобразований. Все это может

потребовать значительных вычислительных затрат. Целью грубого стробирования является сокращение объемов подобных вычислений за счет выявления трасс, принадлежность КТ к которым наиболее вероятна. Суть грубого стробирования заключается в проверке «попадания» ЭТ в строб относительно КТ. Величина зоны, в которой проводится грубое сличение, по азимуту рассчитывается в зависимости от удаленности i -ой КТ от некоторой минимальной для конкретного ИРЛИ дальности D_0

$$\Delta\beta_{i,n}^{FC} = \begin{cases} \arctg \frac{D_0}{D_{i,n}}, & \text{если } D_{i,n} > D_0 \\ 180^\circ, & \text{если } D_{i,n} \leq D_0 \end{cases} \quad (1)$$

и может превосходить величину азимутального сектора.

Так как входные данные поступают по секторам и ЭТ, которым принадлежат поступившие КТ, могут находиться в различных секторах, после расчета $\Delta\beta_i^{FC}$ определяются азимуты начала и конца зоны грубого сличения

$$\beta_{i,n}^H = \beta_{i,n} - \frac{1}{2}\Delta\beta_{i,n}^{FC}, \beta_{i,n}^K = \beta_{i,n} + \frac{1}{2}\Delta\beta_{i,n}^{FC}. \quad (2)$$

Сектор, в котором находится $\beta_{i,n}^H$, является начальным сектором $S_{i,n}^H$, а сектор, в котором находится $\beta_{i,n}^K$, – конечным $S_{i,n}^K$.

Грубое стробирование КТ производится со всеми ЭТ, находящимися в секторах от $S_{i,n}^H$ до $S_{i,n}^K$. Оно осуществляется по координатам азимут, дальность, угол места:

$$|D_{j,n} - D_{i,n}| \leq \Delta D_0, |\beta_{j,n} - \beta_{i,n}| \leq \Delta\beta_0, |\varepsilon_{j,n} - \varepsilon_{i,n}| \leq \Delta\varepsilon_0, \quad (3)$$

где $D_{j,n}, \beta_{j,n}, \varepsilon_{j,n}$ – координаты j -ой ЭТ;

$D_{i,n}, \beta_{i,n}, \varepsilon_{i,n}$ – координаты i -ой КТ;

$\Delta D_0, \Delta\beta_0, \Delta\varepsilon_0$ – размеры половины строба грубого сличения.

При этом размеры стробов грубого стробирования являются константами.

Точное отождествление КТ выполняется относительно отобранных ЭТ, содержащихся в списке грубого отождествления. При этом сначала рассчитываются размеры точного строга по дальности в зависимости от качества сопровождения и стробов по азимуту и углу места.

Размеры строга по азимуту определяется по соотношениям:

$$\Delta\beta_{j,n} = \arctg\left(\frac{\frac{1}{2}\Delta D_{j,n}}{D_{j,n}}\right) \text{ или } \Delta\beta_{j,n} = \frac{\frac{1}{2}\Delta D_{j,n}}{D_{j,n}}, \quad (4)$$

а по углу места:

$$\Delta\varepsilon_{j,n} = \arctg\left(\frac{\frac{1}{2}\Delta H_{j,n}}{H_{j,n}}\right) \text{ или } \Delta\varepsilon_{j,n} = \frac{\frac{1}{2}\Delta H_{j,n}}{H_{j,n}}, \quad (5)$$

где $\Delta\beta_{j,n}$ – половина строга точного сличения по азимуту для j-ой ЭТ;

$$D_{j,n} = \begin{cases} D_{КТi} - \text{при автозахвате ВО,} \\ D_{ЭТj} - \text{в остальных случаях,} \end{cases} \text{ при этом } D_{КТi} - \text{текущее значение дальности КТ, } D_{ЭТj} - \text{экстраполированное значение дальности ВО;}$$

ности КТ, $D_{ЭТj}$ – экстраполированное значение дальности ВО;

$\Delta\varepsilon_{j,n}$ – половина строга точного сличения по углу места для j-ой ЭТ;

$\Delta H_{j,n}$ – половина строга точного сличения по высоте;

$$H_{j,n} = \begin{cases} H_{КТi} - \text{при автозахвате ВО,} \\ H_{КТj} - \text{в остальных случаях,} \end{cases} \text{ при этом } H_{КТi} - \text{текущее значение высоты}$$

i-ой КТ, $H_{ЭТj}$ – экстраполированное значение высоты ВО.

Строб по высоте определяется так же, как и строб по дальности.

Далее координаты ЭТ из списка предварительного сличения экстраполируются на момент прихода i-ой КТ t_i . При этом используются данные, содержащиеся в формулярах, сопровождаемых ВО. В этом случае одним из возможных предположений о характере движения цели является гипотеза о равномерном движении сопровождаемых ВО по стробируемым координатам:

$$D_{j,n}^{\vartheta} = D_{j,n} + V_{j,n}(t_i - t_j), \beta_{j,n}^{\vartheta} = \beta_{j,n} + \omega_{j,n}^{\beta}(t_i - t_j), \varepsilon_{j,n}^{\vartheta} = \varepsilon_{j,n} + \omega_{j,n}^{\varepsilon}(t_i - t_j), \quad (6)$$

где $D_{j,n}^{\vartheta}, \beta_{j,n}^{\vartheta}, \varepsilon_{j,n}^{\vartheta}$ – доэкстраполированные на момент прихода i -ой КТ t_i сферические координаты цели (дальность, азимут угол места);

t_j – момент времени, на который в формуляре j -ой трассы имеются экстраполированные значения координат;

$D_{j,n}, \beta_{j,n}, \varepsilon_{j,n}$ – экстраполированные значения координат ВО в сферической системе координат (дальность, азимут угол места), которые имеются в формуляре трассы на момент времени t_j ;

$V_{i,n}, \omega_{j,n}^{\beta}, \omega_{j,n}^{\varepsilon}$ – параметры движения ВО по координатам сферической системы координат (линейная скорость по дальности, угловая скорость по азимуту, угловая скорость по углу места), которые записаны в формуляр трассы на момент времени t_j .

Полученные координаты по каждой ЭТ используются для определения расстояния между ЭТ и КТ на момент времени поступления КТ t_i . Затем это расстояние сравнивается с размерами точного строба:

$$\left| D_{j,n}^{\vartheta} - D_{i,n} \right| \leq \frac{1}{2} \Delta D_{j,n}, \left| \beta_{j,n}^{\vartheta} - \beta_{i,n} \right| \leq \frac{1}{2} \Delta \beta_{j,n}, \left| \varepsilon_{j,n}^{\vartheta} - \varepsilon_{i,n} \right| \leq \frac{1}{2} \Delta \varepsilon_{j,n}. \quad (7)$$

Если указанные условия выполняются, то все отождествившиеся ЭТ из списка предварительного сличения запоминаются.

Предварительная обработка КТ, прошедших грубое и точное стробирование по координатам завершается операцией группирования. Группирование имеет целью определение множества КТ, принадлежащих соответствующему множеству ЭТ сопровождаемых ВО, для последующей обработки с целью определения каждой поступившей КТ к единственной ЭТ. Критерий минимальное расстояние между ними.

Группирование заключается в формировании локальных групп близко расположенных друг к другу КТ и трасс. Под локальной группой понимается совокупность КТ, трасс и первых вводов, характеризующихся тем, что:

– стробы сопровождаемых ВО и стробы захвата первых вводов, входящих в группу, могут перекрываться так, что границы стробов, не лежащие внутри других стробов, образуют одну замкнутую область;

– перемещаясь в указанной области из одного строба в другой только через участки перекрытия стробов, внутри которых находятся КТ, можно перебрать все объекты, входящие в группу;

– любая КТ, входящая в группу, находится хотя бы внутри одного строба группы.

После каждого изменения паспорта группы производится анализ завершенности группы:

– по азимутальному размеру группы: разность значений азимутов обрабатываемой КТ и «левой» границы группы не должна превышать некоторую допустимую величину, например, равную;

– по числу входящих в группу КТ или трасс: в группе не должно быть более некоторого количества КТ и некоторого количества ЭТ;

– ЭТ, находящиеся на границе групп и попадающие в соседние группы относятся к первой формируемой по очереди группе, а из списка сличения последующих групп исключаются.

Если список ЭТ, принадлежащих КТ пуст, то пришло либо сообщение о новой обнаруженной цели, либо сообщение от оператора ИРЛИ о первом вводе. В этом случае заводится новый формуляр, в который записываются текущие координаты первого ввода, используемые в процессе предварительной обработки поступающих КТ и как координаты ЭТ до поступления второго и последующих вводов. Таким образом, результатом работы является нахождение взаимного соответствия:

$$\forall i \forall j \left\{ \left(\{ \{ \text{ЭТ}_j \} \in \text{КТ}_i \right) \wedge \left(\{ \text{КТ}_i \} \in \{ \text{ЭТ}_j \} \right) \right\}, \quad (8)$$

для всех номеров поступающих координатных точек и для всех номеров формуляров сопровождаемых трасс группы ЭТ принадлежащих каждой КТ и

группы КТ принадлежащих определенным группам ЭТ. По мере завершения группы $\{KT_i\}_j$ и $\{ЭТ_j\}$ поступают на последующую обработку.

Этап окончательной обработки. На этапе окончательной обработки решаются следующие задачи:

- автоматический захват одиночных ВО;
- автоматический захват ВО в стробах сопровождения;
- отождествление поступивших КТ с ЭТ сопровождаемых трасс;
- сглаживание координат и параметров движения сопровождаемых целей;
- обнаружение маневра ВО;
- расчет ЭТ по сопровождаемым ВО на момент будущего получения КТ;
- автоматический сброс ВО с сопровождения.

Исходными данными для отождествления поступивших КТ с ЭТ сопровождаемых трасс являются результаты предварительной обработки:

- группы текущих КТ;
- группы ЭТ, соответствующие группам КТ.

Для готовой (завершенной) группы КТ и соответствующей ей группе ЭТ производится расчет взаимных расстояний для всех возможных пар КТ-ЭТ с приведением их к единому моменту времени. С этой целью сферические координаты КТ $D_{l,n}, \beta_{l,n}, \varepsilon_{l,n}$ и ЭТ $D_{j,n}, \beta_{j,n}, \varepsilon_{j,n}$ соответственно пересчитываются в прямоугольную систему координат:

$$\left. \begin{aligned} x_{l,n} &= D_{l,n} \cos \varepsilon_{l,n} \cos \beta_{l,n} + x_0, \\ y_{l,n} &= D_{l,n} \cos \varepsilon_{l,n} \sin \beta_{l,n} + y_0, \end{aligned} \right| l = i, j, \quad (9)$$

где x_0, y_0 – поправка пересчета, учитывающая параллакс ИРЛИ относительно центра позиции, по отношению к которой ведется обработка.

Затем координаты $\{ЭТ_j\} \in \{КТ_i\}$ приводятся к моменту обработки путем доэкстраполяции. Используются соотношения

$$\overline{x}_{j,n}^{\circ} = \overline{x}_{j,n}^S + \overline{V}_{xj,n}^{\circ} (t_i - t_j), \quad \overline{y}_{j,n}^{\circ} = \overline{y}_{j,n}^S + \overline{V}_{yj,n}^{\circ} (t_i - t_j), \quad (10)$$

где $\bar{x}_{j,n}^{\circ}, \bar{y}_{j,n}^{\circ}$ – координаты ВО, доэкстраполированные на момент поступления i-ой КТ;

$\bar{x}_{j,n}^s, \bar{y}_{j,n}^s$ – координаты строка отбора в n-ом цикле обработки;

$\bar{V}_{xj,n}^{\circ} = \bar{V}_{xj,n-1}^{\circ}, \bar{V}_{yj,n}^{\circ} = \bar{V}_{yj,n-1}^{\circ}$, при этом $\bar{V}_{xj,n-1}^{\circ}, \bar{V}_{yj,n-1}^{\circ}$ – сглаженные значения составляющих скорости цели в (n-1)-ом цикле обработки;

t_i, t_j – моменты времени, на которые имеется координатная информация по i-й КТ и j-ой ЭТ соответственно.

Результаты отождествления могут быть следующими:

- ЭТ и КТ отождествились и образовали пару;
- одна или несколько ЭТ группы не подтвердились на данном обзоре;
- одна или несколько КТ из группы не отождествились ни с одной ЭТ.

В первом случае производятся траекторные расчеты с учетом нового измерения положения, сопровождаемого ВО.

Во втором случае фиксируется пропуск в сопровождении по неподтвержденным ЭТ. Если пропусков по ВО больше некоторой пороговой серии пропусков КТ в строках сопровождения k_m , то ВО сбрасывается с сопровождения.

В третьем случае принимается решение о новой ВО и формируется новый формуляр цели.

Если КТ отождествилась с ЭТ, а в формуляре ВО присутствует признак первого ввода, то КТ является второй точкой предварительной трассы. Поэтому составляющие скорости движения ВО по координатам в горизонтальной плоскости рассчитываются по результатам первых двух измерений положения цели. В дальнейших расчетах рассчитанные величины используются как сглаженные значения, то есть считаются равными $\bar{V}_{xj,2}, \bar{V}_{yj,2}$.

Дальнейшая обработка подтвержденных ЭТ сопровождаемых трасс производится с целью снижения влияния на оценки координат и параметров движения ВО случайных ошибок измерений и маневра ВО, прежде всего за счет своевременного его обнаружения.

Уменьшение случайных ошибок измерения достигается сглаживанием координат и параметров движения сопровождаемых ВО. Алгоритм сглаживания реализует схему рекуррентного переключающегося фильтра. Он состоит из фильтра с гипотезой о прямолинейном равномерном движении ВО и из фильтра с гипотезой движения ВО с постоянной угловой скоростью или отсутствием сглаживания. В каждом цикле обработки информации по сопровождаемому ВО выполняется процедура выявления маневра. Оба фильтра работают автономно, а в качестве выходных параметров алгоритма принимаются координаты и параметры движения ВО от фильтра, определенного обнаружителем маневра. Условием, при выполнении которого фиксируется факт маневра, является превышение:

$$\left\{ \left(\left| x_n - \bar{x}_{n\bar{z}}' \right| = \delta_{x_n}' > P \right) \wedge \left(\left| x_n - \bar{x}_{n\bar{z}}'' \right| = \delta_{x_n}'' > P \right) \wedge \left(\delta_{x_n}' > \delta_{x_n}'' \right) \right\} \vee \left\{ \left(\left| y_n - \bar{y}_{n\bar{z}}' \right| = \delta_{y_n}' > P \right) \wedge \left(\left| y_n - \bar{y}_{n\bar{z}}'' \right| = \delta_{y_n}'' > P \right) \wedge \left(\delta_{y_n}' > \delta_{y_n}'' \right) \right\}, \quad (11)$$

где x_n, y_n – измеренные значения координат цели в n-ом цикле обработки;

$\bar{x}_{n\bar{z}}', \bar{y}_{n\bar{z}}', \bar{x}_{n\bar{z}}'', \bar{y}_{n\bar{z}}''$ – экстраполированные значения координат по данным первого и второго фильтров.

Этапы обработки в основном (первом) фильтре сглаживания следующие.

Сначала определяются *измеренные значения составляющих скорости ВО* в n-ом цикле обработки:

$$V_{xj,n} = \frac{x_{j,n} - \bar{x}_{j,n-1}}{t_i - t_j} = \frac{x_{j,n} - \bar{x}_{j,n-1}}{T_0 - \Delta T_n}, V_{yj,n} = \frac{y_{j,n} - \bar{y}_{j,n-1}}{t_i - t_j} = \frac{y_{j,n} - \bar{y}_{j,n-1}}{T_0 - \Delta T_n}, \quad (12)$$

где $x_{j,n}, y_{j,n}$ – измеренные значения координат сопровождаемого ВО в n-ом обзоре (в n-ом цикле обработки).

Далее выполняется доэкстраполяция *координат ВО* на момент поступления КТ в соответствии с выражениями (9) или (10). Данная процедура аналогична приведению координат к единому моменту времени с целью расчета взаимных расстояний между КТ и ЭТ, на основе которых осуществляется отождествление

пар КТ-ЭТ. Смысл ее повторения может заключаться в том, чтобы не организовывать хранение и последующий отбор доэкстраполированных координат, так как этап отождествления довольно громоздок в вычислительном плане.

Затем производится расчет следующих характеристик:

– *сглаженных значений координат ВО* в n -ом цикле обработки:

$$\bar{x}_{j,n} = \bar{x}_{j,n}^{\circ} + \alpha_{j,n} (x_{j,n} - \bar{x}_{j,n}^{\circ}), \bar{y}_{j,n} = \bar{y}_{j,n}^{\circ} + \alpha_{j,n} (y_{j,n} - \bar{y}_{j,n}^{\circ}), \quad (13)$$

где $\alpha_{j,n} = \frac{2(2n-1)}{n(n+1)}$ – коэффициент сглаживания по координатам;

– *сглаженных значений составляющих скорости ВО* в n -ом цикле обработки:

$$\bar{V}_{xj,n} = \bar{V}_{xj,n}^{\circ} + \beta_{j,n} (V_{x_n} - \bar{V}_{xj,n}^{\circ}), \bar{V}_{yj,n} = \bar{V}_{yj,n}^{\circ} + \beta_{j,n} (V_{y_n} - \bar{V}_{yj,n}^{\circ}), \quad (14)$$

где $\beta_{j,n} = \frac{6}{n(n+1)}$ – коэффициент сглаживания по скорости.

На основе полученных при сглаживании данных производится определение значений *координат ВО*, экстраполированных на момент стробирования в $(n+1)$ -ом обзоре (цикле обработки):

$$\bar{x}_{j,(n+1)}^S = \bar{x}_{j,n} + \bar{V}_{xj,n} \bullet T_0, \bar{y}_{j,(n+1)}^S = \bar{y}_{j,n} + \bar{V}_{yj,n} \bullet T_0. \quad (15)$$

Возможен следующий вариант определения факта маневра:

$$(\delta_{n-1} > P) \wedge (\delta_n > P), \delta_n = \sqrt{(x_n - \bar{x}_n)^2 + (y_n - \bar{y}_n)^2}, \quad (16)$$

где δ_{n-1}, δ_n – отклонение в горизонтальной плоскости между измеренным и сглаженным положением ВО в предыдущем и текущем цикле обработки;

$n-1, n$ – номер предыдущего и текущего обзора соответственно;

\bar{x}_n, \bar{y}_n – сглаженные значения координат ВО в n -ом цикле обработки.

В этом случае в качестве второго фильтра используется линейный фильтр (обеспечивающий расчет линейной скорости движения, без определения ускорения и других производных координат) с постоянным коэффициентом сглаживания составляющих скорости и без сглаживания координат. При этом в основе

расчета экстраполированных значений координат ВО лежит гипотеза о движении цели с постоянной угловой скоростью в горизонтальной плоскости:

$$\omega_{j,n} = \frac{\beta_{j,n} - \beta_{j,n-1}}{t_i - t_j} = \frac{\beta_{j,n} - \beta_{j,n-1}}{T_0 - \Delta T_n}, \quad (17)$$

где $\beta_{j,n}, \beta_{j,n-1}$ – угол места ВО в соответствующем (предыдущем и текущем) цикле обработки.

Таким образом, алгоритм сглаживания строится по рекуррентной переключающейся схеме и состоит из фильтра, настроенного на гипотезу о прямолинейном равномерном движении ВО, и фильтра с гипотезой о движении ВО с постоянной угловой скоростью или отсутствием сглаживания и обнаружителя маневра.

Список литературы

1. Алмазов В.В. Получение и обработка радиолокационной информации / В.В. Алмазов, В.Н. Манжос. – Харьков: Вирта ПВО, 1984.
2. Кузьмин С.З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: Сов. радио, 1974.
3. Моделирование в радиолокации / А.И. Леонов, В.И. Васенков [и др.]; под ред. А.И. Леонова. – М.: Сов. Радио, 1979.
4. Теоретические основы радиолокации / Я.Д. Ширман, В.Н. Голиков, И.Н. Бусыгин [и др.]; под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Сов. Радио, 1970.
5. Турсунходжаев Х.А. Основы цифровой обработки радиолокационной информации. – Харьков: Вирта ПВО, 1989.
6. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей: Пер с англ. / А. Фарина, Ф. Студер. – М.: Радио и связь, 1993.
7. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. – М.: Радио и связь, 1993.
8. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я.Д. Ширман, В.Н. Манжос. – М.: Радио и связь, 1981.