

ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКЗЕМПЛЯРА ПО

Программа радарного процессора
(программа радарного процессора)

Версия 1.0

Москва, 2023

Оглавление

1. Сокращения.....	3
2. Функциональные характеристики.....	4
2.1. Цели и назначение	4
2.2. Архитектура системы	4
2.3. Ключевые функции.....	7
3. Описание программных средств	9
3.1. Растровые данные	12
3.2. Системы координат	13
3.3. Форматы отметок.....	14
3.4. Пороговая обработка	15
3.5. Выделение первичных отметок	15
3.6. Сканирование одномерной развертки.....	16
3.7. Селекция пятен по амплитуде	18
3.8. Удаление отметок, попавших в зоны бланкирования.....	19
3.9. Формирование данных, обрабатываемых в цикле ТО	19
3.10. Отождествление и фильтрация.....	20
3.11. Обнаружение и создание новой траектории	25
3.12. Сброс сопровождения траектории.....	26
3.13. Формирование выходных данных и пересылка потребителям.....	28
4. Затрачиваемые ресурсы	29
5. Входные и выходные данные.....	30

1. Сокращения

Сокращение	Расшифровка
REST API	Representational State Transfer (передача состояния представления) — архитектурный стиль разработки API веб-приложений или компонентов распределённого приложения с использованием протокола HTTP.
UDP	User Datagram Protocol — протокол пользовательских датаграмм
АИС	автоматическая идентификационная система
АРМ	автоматизированное рабочее место
БД	база данных
БС	базовая станция
ЛТ	локальная траектория
ПАК	программно-аппаратный комплекс
ПО	программное обеспечение
ПСК	прямоугольная система координат
РЛС	радиолокационная станция
СК	система координат
СКО	среднеквадратичное отклонение
СТ	системная траектория
СУДС	система управления движением судов
ТО	траекторная обработка
ЭНК	электронные навигационные карты

2. Функциональные характеристики

2.1. Цели и назначение

Программа радарного процессора (программа радарного процессора), далее просто «программа радарного процессора» предназначена для построения траекторий движения объектов, находящихся в зонах видимости радиотехнических систем – нескольких береговых РЛС с трассовым выходом и одной АИС.

2.2. Архитектура системы

2.2.1. Архитектура экстрактора

Обработки данных в экстракторе включает следующие стадии:

- пороговая обработка (построение пороговой кривой для принятой радиолокационной развертки и сравнение амплитуд развертки с порогом);
- формирование первичных отметок;
- дополнительная селекция первичных отметок.

Пороговая обработка предназначена для подавления шумов и помех. Амплитуды отражений от целей превышают пороговую кривую, а амплитуды «фоновых» помеховых отражений и шумов — нет. Алгоритмы в этой части обработки - «растровые», в том смысле, что входная информация представлена массивом амплитуд для отдельных точек радиолокационного изображения, и выходная информация также представляет собой массив отсчетов амплитуды (для одной развертки), или, если брать выходную информацию за какое-то время — массив отсчетов, характеризуемых азимутом, дальностью и амплитудой.

Формирование первичных отметок имеет следующий смысл. Отметка цели включает не один, а несколько превысивших порог отсчетов амплитуды с отличающимися значениями дальности и пеленга. Отдельная вторичная обработка каждого из таких отсчетов совершенно нецелесообразна. Существуют ситуации, в которых отметки, в действительности, относящиеся к одному движущемуся объекту, удастся надежно отождествить только по данным вторичной обработки (например, отражения от отдельных частей очень крупного судна). Однако в большинстве случаев принадлежность нескольких близко расположенных пикселей радарного изображения одной неточечной цели определяется легко, и траекторная обработка для этого не требуется. Соответственно, предусмотрена формальная процедура, объединяющая близкие надпороговые точки радиолокационной картинки в общую отметку и передающая дальше на обработку уже характеристики такой отметки как единого целого. На эту же часть обработки возлагается селекция выделенных отметок по геометрическому размеру. Если выделяемая отметка представляет собой фрагмент береговой черты, она может в результате объединения получить значительные размеры. Такая отметка заведомо не может представлять собой судно, и выдача ее характеристик по протоколу ASTERIX 048 отменяется.

Дополнительная селекция первичных отметок обусловлена следующими причинами. Среди сформированных первичных отметок есть и ложные. Добиться идеального подавления помех на этапе пороговой обработки (вероятность ложной отметки близка к нулю, вероятность пропуска действительной цели близка к нулю) обычно не удается. Завышение порогов грозит потерей слабых целей, при пониженных порогах получаем значительное количество отметок, в том числе ложных, обусловленных помеховыми отражениями. Полностью возложить отбраковку ложных отметок (как не повторяющихся от оборота к обороту антенны) на вторичную обработку (сопровождение целей) невозможно. Сколь бы качественной и быстрой ни была траекторная обработка, очевидно, большой поток ложных отметок способен серьезно затруднить ее работу. Селекция отметок реализует следующий подход: экстрактор выдает не более фиксированного числа отметок в пределах оборота. Добиться того, чтобы на выходе экстрактора получалось примерно N отметок на оборот, при помощи регулировок первой части (пороговой обработки), весьма затруднительно — пороговые настройки влияют на количество отметок лишь опосредованно. Поэтому применяется четкая обратная связь: если в данный момент траекторная обработка способна для штатной работы без перегрузки принять N первичных отметок на оборот, то столько же и выдается.

2.2.2. Архитектура трекера

Схема трекера включает в себя две части:

- инициализацию;
- цикл траекторной обработки (цикл ТО).

Инициализация трекера заключается в задании исходных данных о РЛС, а также параметров траекторной обработки.

Помимо начальной инициализации, в трекере предусмотрена также возможность оперативной настройки некоторых его параметров пользователем (оператором РЛС/СУДС).

Цикл ТО – это последовательность алгоритмов, реализующих ввод в трекер очередной порции данных, ее обработку и выдачу результатов.

На входе ТО данные представлены в виде очереди отметок. За наполнение очереди отвечает клиент, взаимодействующий с экстрактором. Отметки в очереди должны быть отсортированы во времени, так чтобы в начале очереди находилась самая «старая» отметка. Перед помещением отметки в очередь производится ее преобразование во внутренний формат трекера, а также проверка на попадание в зону бланкирования (такие отметки удаляются и в очередь не поступают). «Опоздавшие» отметки, т.е. имеющие время меньше предыдущего цикла ТО, из обработки также исключаются.

В начале цикла ТО формируется набор отметок, которые будут совместно обрабатываться в этом цикле. Это может быть одна отметка, несколько отметок (набор отметок) или пустое множество. Формирование набора отметок преследует цель одновременной обработки всех

отметок, которые могли бы принадлежать групповой цели, если бы она действительно была в это время в этом месте. Обрабатывать отметки по одной нецелесообразно, т.к. при наличии групповой цели возможно неправильное отождествление. С другой стороны, обработка большого числа отметок приведет к ненужному росту вычислительных затрат при проверке возможности принадлежности каждой отметки к каждой траектории. Таким образом, цикл ТО осуществляет обработку только относительно небольшого количества отметок, близко расположенных в пространстве (отождествление на сетке) и во времени (интервал накопления, достаточный для попадания в него отметок групповой цели), а не все отметки за обзор. Пустой цикл ТО нужен в условиях редкого поступления отметок (всех отметок, не только от некоторой цели), когда интервал между ними может превышать период обзора. Задачей пустого цикла является прекращение обработки траекторий, для которых выполнены соответствующие условия, а также продолжение (экстраполяция) траекторий, для которых такие условия еще не наступили. Тем самым обеспечивается регулярное, примерно раз за обзор, обновление всех сопровождаемых траекторий.

Первое действие с набором отметок – выявление среди них отметок от реперных точек, если таковые присутствуют, с их помощью производится вычисление оценки смещения измерений дальности и азимута в РЛС и компенсация смещения для остальных отметок набора. Выявленные реперные отметки удаляются и на ТО не поступают.

Последующая обработка сформированного набора данных в цикле ТО заключается в их отождествлении с уже существующими траекториями, в случае успешного отождествления производится присвоение отметок выбранным траекториям. Отождествление производится последовательно для сопровождаемых, подтверждаемых и завязываемых траекторий (тем самым реализуется приоритет траекторий разного типа при получении ими отметок). Кроме того, для отождествления выбираются не все траектории данного типа, а только те, которые находятся вблизи с отметками из набора. При отождествлении учитывается, что возможны ситуации, когда некоторая отметка потенциально может попасть в несколько траекторий, или к одной траектории могут быть присоединены несколько отметок. В таких ситуациях применяется решение, при котором выполняется принцип «одна отметка – одна траектория». После присвоения траектории новой отметки выполняется фильтрация параметров траектории на основе полученной информации. Вектор состояния траектории включает в себя вектор пространственных координат и вектор скорости в прямоугольной СК с началом отсчета в месте расположения РЛС. Также оценивается и ковариационная матрица вектора состояния. В качестве траекторного фильтра используется алгоритм многомодельной фильтрации, который позволяет сопровождать цели, совершающими маневры с параметрами, заданными в п. 58 Приказа № 226.

Затем для траекторий разных типов проверяются критерии соответственно завязки, подтверждения и сброса. Сброшенные траектории удаляются.

Часть оставшихся неотожествленными отметок возвращается обратно в очередь, по остальным начинается завязка новых траекторий.

Сведения о сопровождаемых траекториях, обновленных на данном цикле ТО, оформляются в виде отметок требуемой структуры и формата и передаются на выход трекера.

2.2.3. Архитектура Интегратора

Схема интегратора близка к схеме трекера и включает в себя две части:

- инициализацию;
- цикл траекторной обработки (цикл ТО).

Инициализация интегратора заключается в задании исходных данных о РЛС и АИС, а также параметров траекторной обработки.

Помимо начальной инициализации, в интеграторе предусмотрена также возможность оперативной настройки его параметров пользователем (оператором СУДС).

Цикл ТО – это последовательность функций, реализующих ввод в интегратор очередной порции данных и ее обработку. На входе ТО данные представлены в виде очередей отметок. Очереди создаются для каждой РЛС и еще одна – для отметок АИС. За наполнение очереди отвечает клиент соответствующего источника данных. Отметки в очереди отсортированы по времени так, что в начале очереди находится самая «старая» отметка, за исключением набора отметок от новой локальной траектории, в котором первой находится последняя полученная отметка.

В начале цикла ТО данные считываются из очереди, первая отметка которой имеет минимальное время среди первых отметок всех очередей — набор траекторных отметок от одной РЛС либо одна отметка от АИС. Дальнейшая обработка сформированного набора данных в цикле ТО заключается в отождествлении данных с уже сопровождаемыми системными траекториями, в случае успешного отождествления – присвоение отметки выбранной траектории и фильтрация параметров траектории, для всех траекторий – проверка критерия сброса, по оставшимся неотожествленным новым локальным траекториям или отметке АИС – создание новой траектории, для всех обновленных траекторий – формирование выходных данных и пересылка их потребителям.

2.3. Ключевые функции

Программа радарного процессора осуществляет:

ввод данных от РЛС и АИС;

- создание траекторий наблюдаемых объектов (как подвижных, так и неподвижных);
- сопровождение траекторий, в ходе которого производится отождествление новых траекторий, траекторных отметок и отметок АИС с существующими траекториями и фильтрация параметров траектории;
- сброс сопровождения траекторий;
- выдачу данных на сопрягаемые устройства;

- взаимодействие с оператором СУДС.

Вся информация об одном объекте, поступающая от разных источников, объединяется в программе в составе единой траектории, которая подвергается дальнейшей обработке.

Экстрактор позволяет решать следующие задачи:

- прием первичной радиолокационной информации непосредственно от РЛС или от платы аналогового ввода;
- пороговую обработку радиолокационного изображения для подавления помех;
- выделение первичных отметок целей и передачу их на вторичную обработку;
- формирование модифицированного первичного радиолокационного изображения для передачи на рабочие места операторов.

Трекер осуществляет следующие действия:

- ввод данных от Экстрактора (или аналогичного по функциям устройства);
- обнаружение траекторий наблюдаемых объектов (как подвижных, так и неподвижных), сопровождение траекторий, в ходе которого производится отождествление поступающих от Экстрактора отметок с существующими траекториями и фильтрация (уточнение) параметров траектории;
- сброс сопровождения траекторий, которые более не наблюдаются;
- выдачу данных на сопрягаемые устройства (Интегратор);
- взаимодействие с пользователем (оператором РЛС или СУДС).

Интегратор осуществляет:

- ввод данных от РЛС и АИС;
- создание траекторий наблюдаемых объектов (как подвижных, так и неподвижных), сопровождение траекторий, в ходе которого производится отождествление новых траекторий, траекторных отметок и отметок АИС с существующими траекториями и фильтрация параметров траектории;
- сброс сопровождения траекторий;
- выдачу данных на сопрягаемые устройства;
- взаимодействие с пользователем (оператором СУДС).

3. Описание программных средств

Программа радарного процессора позволяет оперировать форматами данных, представленных в таблице 1, и обеспечивает выполнение алгоритмов, представленных в таблице 2.

Таблица 1. Форматы данных программы радарного процессора.

	Наименование формата данных	Описание
1	Растровые данные	<p>Входные данные экстрактора представлены потоком радиолокационных разверток в формате ASTERIX 240. Для каждой развертки указывается порядковый номер, пеленг, величина кванта времени, определяющего размер ячейки по дальности, начальное смещение (в квантах), количество ячеек дальности, формат (разрядность) отсчета амплитуды, массив амплитуд и, возможно, метка времени (может отсутствовать).</p> <p>Выходные данные представляют радарное изображение, используется тот же протокол ASTERIX 240 поверх транспортного протокола UDP.</p>
2	Системы координат	<p>РЛС производит измерения в полярной системе координат (СК), а траекторная обработка в РЛС выполняется в ее локальной прямоугольной СК с тем же началом отсчета, то перед подачей отметок на траекторную обработку осуществляется пересчет вектора измерений и его дисперсий из полярной СК в прямоугольную СК. Результаты траекторной обработки передаются в Интегратор по протоколу ASTERIX cat.062 в локальной прямоугольной СК.</p> <p>В связи с тем, что сопрягаемые системы выдают или получают данные, задаваемые в разных системах координат, Интегратор осуществляет преобразование координат между географической, прямоугольной и полярной системами координат.</p>

3	Форматы отметок	<p>В экстракторе присутствуют отметки следующего типа - первичные отметки, для передачи которых используется формат протокола ASTERIX 048.</p> <p>В Трекере присутствуют отметки следующих основных типов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - входные первичные отметки в формате протокола ASTERIX cat.048 (поступают на вход Трекера от Экстрактора); - внутренний формат отметки Трекера; - траекторные отметки, передаваемые в Интегратор. <p>В Интеграторе присутствуют отметки разных типов - траекторные и АИС, входного формата и внутреннего формата. Преобразование отметок производится Интегратором перед подачей их на цикле ТО</p>
---	-----------------	---

Таблица 2. Алгоритмы программы радарного процессора.

	Наименование	Описание
	Пороговая обработка	Пороговая обработка предназначена для подавления шумов и помех.
	Выделение первичных отметок	Выделение первичных отметок представляет собой процедуру, объединяющую близкие надпороговые точки радиолокационной картинке в общую отметку и передающую дальше на обработку уже характеристики такой отметки как единого целого.
	Сканирование одномерной развертки	Основным блоком алгоритма, к которому предъявляются требования по быстродействию, является сканирование развертки - одномерного массива амплитуд, соответствующих разным ячейкам дальности.
	Склеивание пятен на двумерном изображении	В одномерном случае (при обработке одномерной развертки) алгоритм представляет собой склеивание в один объект ненулевых точек,

		расстояние между которыми меньше расстояния отделимости.
	Селекция пятен по амплитуде	Выделенные отметки сортируются по величине «суммарная яркость», которая является суммой амплитуд всех отсчетов, входящих в пятно.
	Удаление отметок, попавших в зоны бланкирования	Данная функция реализована на стадии преобразования отметок до их помещения в очередь отметок. Отметка, попавшая в какую-либо из зон, заданной для Трекера, удаляется и в очередь не поступает.
	Устранение систематических погрешностей в радиолокационных измерениях	Алгоритм устранения систематических погрешностей в радиолокационных измерениях Трекера работает за счет использования отметок от реперных точек РЛС.
	Формирование данных, обрабатываемых в цикле ТО	<p>Данные, полученные от технических средств, ставятся Треком в виде отметок в очередь и содержат информацию о целях согласно протоколу ASTERIX.</p> <p>Выходными данными Интегратора являются параметры системных траекторий, обновленных на данном цикле ТО. В общем случае это:</p> <ul style="list-style-type: none"> - вновь обнаруженные системные траектории; - уже сопровождаемые системные траектории, получившие новые отметки, - уже сопровождаемые системные траектории, которые были экстраполированы; - сброшенные системные траектории.
	Отождествление и фильтрация	Отождествление и фильтрация представляют собой сравнение наборов отметок для сопровождаемых траекторий и последующее распознавание характера поведения целей.
	Обнаружение и создание новой траектории	Обнаружение новой траектории происходит по первичной отметке, неотожествленной ни с одной из траекторий и невозвращенной в очередь. Создание новой траектории происходит либо по запросу оператора СУДС, либо по данным от РЛС и

		АИС, не отождествленных с системными траекториями.
	Сброс сопровождения траектории	Сброс сопровождения траекторий выполняется на основании данных от технических средств СУДС и последующей их программной оценкой. Ручной сброс траектории осуществляется по команде оператора РЛС/СУДС.
	Формирование выходных данных и их пересылка потребителям	Выходными данными Трекера, которые должны быть переданы Интегратору, являются параметры сопровождаемых траекторий, обновленных на данном цикле ТО. Выходными данными Интегратора являются параметры системных траекторий, обновленных на данном цикле ТО.

3.1. Растровые данные

Входные данные экстрактора представлены потоком радиолокационных разверток в формате ASTERIX 240. Формат развертки описан стандартом. Для каждой развертки указывается порядковый номер, пеленг, величина кванта времени, определяющего размер ячейки по дальности, начальное смещение (в квантах), количество ячеек дальности, формат (разрядность) отсчета амплитуды, массив амплитуд и, возможно, метка времени (может отсутствовать). Порядковый номер позволяет контролировать отсутствие пропусков данных (он от развертки к развертке меняется строго на 1). Для азимута задаются два значения — начальный и конечный азимуты «сектора», которому соответствует данная развертка. Смысл придания развертке двух значений азимута следующий: развертка может быть получена объединением по углу (усреднением или выбором максимального значения в каждой ячейке дальности) результатов нескольких зондирующих посылок. Единица измерения пеленга в протоколе — 1/65536 круга.

Разрядность данных по протоколу может быть различной (1, 2, 4, 8, 16 или 32 бита). Экстрактор работает только с 8-разрядными входными данными, поскольку для некогерентной амплитудной обработки большей точности входных амплитуд не требуется, а разрядности, меньшей байта, недостаточно.

По протоколу данные могут нести, наряду со значением разрядности, также признаки сжатия данных. Экстрактор никакой процедуры распаковки не поддерживает, и с данными, несущими признак сжатия, работать не может.

Протокол не требует, чтобы заголовки разверток несли одинаковые начальное смещение: формально, последовательные развертки могут начинаться с разных значений дальности. Развертка большой длины на выходе этого радара может быть представлена несколькими фрагментами по 1024 отсчета, имеющими одинаковые значения пеленга, но разные начальные смещения. Экстрактор может принимать такой поток данных.

Развертки в формате ASTERIX 240 могут снабжаться метками времени. Предполагается, что задержка передачи данных от РЛС или от модуля аналогового ввода минимальна, экстрактор в штатном режиме работы располагается на радиолокационном посту в непосредственной близости от РЛС. В этой ситуации метки времени во входящих развертках необязательны: экстрактор сам может выставить входящим разверткам метки времени.

На транспортном уровне используется протокол UDP, поскольку именно этот протокол лучше подходит для передачи большого потока сравнительно малоценных данных. Потеря единичной радиолокационной развертки не приводит к каким-либо серьезным последствиям, в то же время повторная перетрансляция ее в условиях, когда поток данных сравним к максимальной пропускной способности интерфейсов, заведомо неуместна.

Экстрактор способен как принимать данные, адресованные на его адрес в unicast режиме, так и выполнять подписку на прием multicast рассылки данных.

Предусмотрен технологический режим работы, в котором данные в формате ASTERIX 240 считываются из заранее подготовленного файла.

К входным данным программы относятся также конфигурационный файл и файл карты запрета целевыделения.

Растровые выходные данные используют тот же протокол ASTERIX 240 поверх транспортного протокола UDP. В качестве адреса назначения может быть указан multicast адрес.

3.2. Системы координат

РЛС производит измерения в полярной СК (дальность, азимут), начало отсчета которой находится в точке расположения РЛС. Траекторная обработка в РЛС выполняется в ее локальной прямоугольной системе координат (ПСК) с тем же началом отсчета. Поэтому перед подачей отметок на траекторную обработку осуществляется пересчет вектора измерений и его дисперсий из полярной СК в ПСК. Результаты траекторной обработки (вектор координат, вектор скорости, ковариация вектора координат, СКО вектора скорости) передаются в Интегратор по протоколу ASTERIX cat.062 в локальной ПСК.

Координаты реперных точек и зон бланкирования задаются в географических координатах (долгота, широта). Для последующего использования они пересчитываются в локальную ПСК.

Траекторная обработка производится в прямоугольной системе координат с известным началом отсчета (например, местоположение СУДС) — базовой СК. Координаты РЛС и

Интегратора задаются в географической СК (долгота, широта). Координаты целей, поступающие от РЛС, как и вектор скорости, выражены в прямоугольной СК, связанной с РЛС (вариант – в географической СК). Координаты в отметках АИС представлены в географической СК, вектор скорости – в полярной (скорость, курс). Выходные данные об объектах, передаваемые Интегратором на сопрягаемые устройства, могут быть выражены в прямоугольной базовой, или в географической СК (cat.062 позволяет передавать не только в этих СК, но еще и в полярных). Таким образом, в Интеграторе осуществляется преобразование координат между географической, прямоугольной и полярной системами координат.

3.3. Форматы отметок

В экстракторе присутствуют отметки следующего типа - первичные отметки, для передачи которых используется формат протокола ASTERIX 048. Из всех полей данных, которые может нести отметка цели согласно протоколу, используется лишь небольшая часть. Задействуются поля идентификатора источника («адрес» источника данных в собственной адресной системе ASTERIX), времени, координат отметки в полярной системе, привязанной к радару, поле «описание отметки» (указывает, что отметка получена активным локатором, без использования ответчика), поле «характеристики отметки» (амплитуда и ширина по азимуту).

Таким образом, выходные данные представлены последовательностью блоков данных, каждый из которых начинается байтом кода категории данных (CAT в обозначениях протокола) ASTERIX со значением 48 = 0x30, за которым следуют два байта, задающие длину блока LEN. Длина блока указывается в байтах, она включает байт кода категории и поле длины; формат представления длины — беззнаковое 16-разрядное целое в big endian формате (первым — старший байт). Далее (LEN-3) байта данных блока. Данные состоят из «data records», записей данных. Каждая из этих записей представляет собой описание радиолокационной отметки.

В трекаре присутствуют отметки следующих основных типов:

- входные первичные отметки в формате протокола ASTERIX cat.048 (поступают на вход трекара от экстрактора);
- внутренний формат отметки трекара;
- траекторные отметки, передаваемые в Интегратор.

В Интеграторе присутствуют отметки разных типов – траекторные и АИС, входного формата и внутреннего формата. Радиолокационные траекторные отметки от источников данных (экстракторов РЛС) поступают в формате ASTERIX (предполагается, что в cat.062). От системы АИС поступают отметки в их собственном формате, описанном в стандарте АИС. Используются данные, содержащиеся в Сообщениях 1-3 для систем АИС класса А, причем из

сообщения берется только та информация, которая необходима Интегратору. Преобразование отметок производится Интегратором перед подачей их на цикле ТО.

3.4. Пороговая обработка

При пороговой обработке используется алгоритм скользящего окна. Для построения значения порога в точке с координатами

$$(\phi_i, r_j)$$

строится двумерное окно в границах

$$(\phi = \overline{\phi_i - \phi_w/2, \phi_i + \phi_w/2}; r = \overline{r_j - r_w/2, r_j + r_w/2})$$

Если отсчет с координатами предполагается отметкой цели, то соседние с ним отсчеты амплитуды также могут быть повышенными (например, за счет ширины диаграммы направленности или длины зондирующего импульса). Для того, чтобы исключить такие отсчеты на формирование порога в точке

$$(\phi_i, r_j),$$

из рассмотрения исключаются отсчеты внутри «дыры» с границами

$$(\phi = \overline{\phi_i - \phi_h/2, \phi_i + \phi_h/2}; r = \overline{r_j - r_h/2, r_j + r_h/2})$$

(нижний индекс h здесь означает «hole» - «дыра»).

В окне вычисляются сумма и сумма квадратов всех его отсчетов (за исключением отсчетов «дыры»). При сдвиге окна по дальности и пеленгу пересчет сумм выполняется рекуррентно на основании данных для предшествующих положений окна.

Размеры окна и «дыры» в центре являются конфигурационными параметрами экстрактора.

На основании полученных оценок для каждой точки обрабатываемой развертки вычисляются оценка среднего уровня амплитуды и ее среднеквадратическое отклонения. По ним строится значение порога (учитывающее с априорно выбранными «весами» среднее и СКО и включающее дополнительную постоянную добавку).

Перед вычислением статистик по скользящему окну над отсчетами развертки может быть дополнительно выполнено сглаживание медианным фильтром.

Предполагается, что соседние развертки статистически зависимы, а характеристики помехи меняются в зависимости от пеленга сравнительно медленно. Поэтому сдвиг окна и накопление сумм происходят на каждой развертке, а вычисление порога, включающее многочисленные операции с плавающей точкой — один раз на 8 последовательных разверток. Для последующих 7 разверток используется та же пороговая кривая.

3.5. Выделение первичных отметок

Имеется двумерный массив (радиолокационное изображение), каждый элемент которого имеет нулевое или ненулевое значение. Эти значения получаются на этапе пороговой обработки следующим образом. Все элементы массива, которые оказались ниже пороговой кривой, заменяются нулями; те, которые превзошли порог, получают значение «исходная

амплитуда минус порог». Если ненулевой элемент имеет ненулевого же «соседа», обе координаты которого отличаются незначительно, то такие два элемента массива относятся к одной и той же отметке («склеиваются» в одно «пятно»).

Ненулевые элементы массива, таким образом, распадаются на отдельные «пятна». Если два ненулевых элемента, один с координатами

$$x_1, y_1,$$

второй с координатами

$$x_2, y_2,$$

относятся к разным пятнам, то с необходимостью

$$|x_2 - x_1| > 1, \quad |y_2 - y_1| \neq 1$$

(в противном случае эти два ненулевых пиксела будут склеиваться).

В общем случае, «расстояние отделимости», на котором точки перестают склеиваться, может быть и не единичным, и, кроме того, различным для разных координат. В случае, когда координата y - угловая, расстояние отделимости между точками x_1, y_1 и x_2, y_2 по координате y может еще и зависеть от координаты x . (Угловое расстояние в 5 градусов по углу для объектов на расстоянии 100 м от наблюдателя соответствует линейному расстоянию менее чем в 20 м, то же самое угловое расстояние в 5 градусов для двух целей на дальности 10 км дает расстояние в полтора километра. В первом случае наблюдаемые точки в принципе могут относиться к одному судну, во втором, очевидно, не могут. Поэтому унифицированное расстояние отделимости для координаты y независимо от значений x ввести нельзя.)

Расстояние между точками, на основании которого принимается решение о их принадлежности одному или разным объектам, вычисляется как евклидово.

По окончании просмотра массива на выходе алгоритма определяются координаты «центров» пятен (определяемых тем или иным способом), данные о размерах пятен и их амплитуде.

3.6. Сканирование одномерной развертки

Основным блоком алгоритма, к которому предъявляются требования по быстродействию, является сканирование развертки — одномерного массива амплитуд, соответствующих разным ячейкам дальности. Алгоритм здесь следующий. Ненулевые точки, расстояние между которыми меньше расстояния отделимости, склеиваются в один отрезок. Конец одного отрезка и начало другого разделены расстоянием, не меньшим расстояния отделимости. Расстояние, для использования в этой части алгоритма, приводится к количеству ячеек (дальности, если перед нами развертка дальности, или частоты, если перед нами спектр). То есть, расстояние между двумя последовательными точками развертки считается единицей, и в эти единицы пересчитывается.

Алгоритм реализован как однопроходный вдоль «главной координаты» (то есть, каждый элемент массива считывается и анализируется только один раз):


```

typedef struct _tspot
{
unsigned short bfrom;
unsigned short bto;
unsigned short dfrom;
unsigned short dto;
unsigned long npix;
unsigned long sum_amps;
unsigned char maxamp;
unsigned char minamp;
// 2021 07 08
// начальная и конечная дальность в ПОСЛЕДНЕЙ развертки
// нужны для того, чтобы ухитриться продолжать «большое» по пеленгу пятно
unsigned short dfrom_here;
unsigned short dto_here;
// флажок big: признак большого пятна
unsigned char is_big;
// резервный байт признаков
unsigned char rserv;
// и метки времени
unsigned int tm_beg; // время начала формирования
unsigned int tm_end; // время завершения формирования
//
unsigned short brg_last; // последний пеленг,
// на котором пятно модифицировано
} tspot;

```

Требуется отметить следующие особенности. Пеленг измеряется в единицах $1/4096$ круга. Несмотря на то, что формально поступающие на вход развертки (в формате ASTERIX 240) снабжаются гораздо более «точными» значениями азимута (в единицах $1/65536$ круга), датчики азимута в РЛС в реальности выдают 4096 отметок на круг, и «промежуточные» значения азимута фактически могут быть получены только интерполяцией или экстраполяцией. Для работы экстрактора большей точности также не требуется (угловое расстояние в $1/4096$ круга дает линейное расстояние в 150 м на расстоянии 100 км). В связи с тем, что азимут меняется периодически (после значения 4095 сбрасываясь в 0), при выделении пятен используется относительное значение азимута, отсчитываемое назад от текущей развертки. Эти значения заведомо неотрицательны, ограничены по величине и не требуют специальной обработки «перехода через 0». То, что при переходе к следующей развертке приходится корректировать угловые параметры всех хранимых пятен, оказывается гораздо меньшей трудностью. Поэтому здесь $bfrom \geq bto$.

Границы пятна по дальности задаются здесь в элементах разрешения текущей шкалы (они пересчитываются в метры или в единицы, используемые протоколом ASTERIX 048, уже после завершения формирования пятна).

Количество пикселей в пятне, их суммарная амплитуда, максимальная и минимальная из амплитуд пикселей пятна используются при дальнейшем вычислении амплитудных характеристик

Структура «пятно» формируется в таком виде уже выходе первого, одномерного, этапа обработки, хотя значительная часть полей в «пятне» оказывается избыточной (они становятся нужны только при объединении пятен, получаемых на различных развертках, с различными значениями пеленга). В процессе работы экстрактора память под «пятна» выделяется динамически, но не оператором «new», а из собственного заранее выделенного пула, поскольку выделение памяти и обработка ее возможной нехватки должны быть полностью под контролем программы.

3.7. Селекция пятен по амплитуде

При установке регулировок порога практически невозможно предсказать, каким будет влияние этих настроек на количество выделяемых отметок. Для того, чтобы обозначить имеющиеся трудности, достаточно привести следующий пример. При существенным одномоментном понижении порога (потому что наблюдается слишком мало отметок) вполне вероятно появление множества превысивших пониженный порог отсчетов, которые, однако же, не выделяются как множество отметок (пусть даже ложных), а сливаются в «негабаритные» области, которые не рассматриваются как отметки целей. В случае, если по ASTERIX 048 передаются только «правильные» отметки, оператор их даже не увидит. Таким образом, зависимость числа выделяемых отметок от настроек типа Gain или Sea даже не монотонна (с ростом Gain в одном диапазоне значений количеств отметок может возрасти, в другом — уменьшиться). Между тем желательно иметь по меньшей мере предсказуемое количество отметок на оборот.

Это достигается следующим образом. Выделенные отметки сортируются по величине «суммарная яркость», она же сумма амплитуд всех отсчетов, входящих в пятно (далее будем называть его «амплитудой отметки»). Поддерживается гистограмма за последний оборот антенны (не от прохождения антенной азимута 0 до прохождения азимута 0), а за последние от текущего азимута. То есть, это «гистограммное окно» является скользящим по азимуту. Статистические характеристики помехи за один оборот меняются мало, и, если найти такое значение «амплитуды отметки» A , которое на предыдущем обороте превысило N отметок, то можно считать, что и на следующих найдется приблизительно N отметок, у которых «амплитуда» превышает A . В таком случае, можно использовать найденное по гистограмме значение A в качестве дополнительного порога для отметок, который обеспечивает выделение предсказуемого их количества за оборот.

Для удовлетворительного решения задачи преобразованием амплитуд «выравниваются» характеристики помеховых отражений и шумов для различных значений дальности.

3.8. Удаление отметок, попавших в зоны бланкирования.

Данная функция реализована на стадии преобразования отметок, до их помещения в очередь отметок. Отметка, попавшая в какую-либо из зон, удаляется и в очередь не поступает.

Зоны бланкирования задаются в виде замкнутых многоугольников (полигонов), описываемых своими вершинами, в географической системе координат (ГСК). Работа с полигонами в трекаре идет в прямоугольной СК, поэтому сразу после задания зоны ее координаты соответствующим образом пересчитываются. Трекер поддерживает произвольное количество зон бланкирования.

Зоны бланкирования сначала задаются для трекара, и затем назначаются для РЛС, что позволяет оперативно настраивать процесс проверки. Задание зон для трекара и их назначение для РЛС может осуществляться оператором РЛС.

3.9. Формирование данных, обрабатываемых в цикле ТО

Данные, приходящие от Экстрактора или аналогичного устройства, помещаются в очередь отметок, из которой извлекаются трекаром и поступают для обработки в цикле ТО. Отметки, помещаемые в очередь, содержат данные согласно протоколу ASTERIX, и сортированы по возрастанию времени (первой является отметка с наименьшим временем).

После начала очередного цикла ТО, при условии, что очередь не пуста, формируется набор отметок, которые будут в нем обрабатываться. Первой отметкой набора становится первая отметка очереди. Далее в нее помещаются отметки от соседних целей, т.е. близкие по времени и попадающие в эту же или соседние ячейки. Накопление отметок реализовано для того, чтобы отметки от групповой цели обрабатывались одновременно. В противном случае возможно неправильное отождествление, что может привести к снижению качества сопровождения. Время накопления отметок выбирается равным прохождению луча сектора размером 12 СКО по азимуту.

Если в очереди нет отметки, время которой превышает время первой отметки на величину, большую чем интервал накопления, то происходит ожидание такой отметки (или истечение времени накопления от момента помещения в очередь первой отметки).

Групповая цель, по определению, это совокупность объектов, находящихся недалеко друг от друга, и согласованно перемещающихся. В ходе траекторной обработки отметки от разных объектов групповой цели могут попадать в стробы траекторий соседних объектов. Согласно принятой стратегии, для сформированного набора отметок анализируются траектории, находящиеся в девяти ячейках. При размере ячейки 5x5 км это будет квадрат 15x15 км – любая групповая цель в него, очевидно, попадет.

Если с момента предыдущего цикла ТО прошло время, превышающее период обзора РЛС (плюс время накопления отметок), то генерируется пустой цикл, т.е. цикл без отметок. В таком цикле выполняется проверка критериев завязки, обнаружения и сброса, не

сброшенные подтверждаемые и сопровождаемые траектории экстраполируются, а экстраполированные отметки сопровождаемых траекторий передаются Интегратору.

Данные, приходящие от разных источников, помещаются в очереди отметок, из которых извлекаются интегратором и поступают для обработки в цикле ТО. Каждая РЛС имеет свою очередь отметок, еще одна очередь отметок создается для АИС. Размещение отметок в очередях осуществляется внешними по отношению к интегратору модулями и здесь не рассматривается. Отметки, помещаемые в очередь, содержат данные согласно протоколу ASTERIX, и сортированы по возрастанию времени (за исключением отметок новых траекторий).

При возникновении условий для запуска очередного цикла ТО выбирается очередь, первая отметка которой имеет минимальное время среди всех первых отметок очередей. Первая отметка очереди становится первой отметкой формируемого набора.

Отметки АИС обрабатываются по одной за цикл ТО. Для траекторных отметок производится накопление с тем, чтобы отметки от групповой цели обрабатывались одновременно.

3.10. Отождествление и фильтрация

В отождествлении участвуют отметки, отобранные алгоритмом формирования набора отметок, и траектории, находящиеся в тех же ячейках, что и отметки, или соседних. Отождествление набора отметок производится последовательно для сопровождаемых траекторий, подтверждаемых и завязываемых. Отождествленные на каждом из этих этапов отметки исключаются из дальнейшей обработки (т.е. отметки, присвоенные сопровождаемым траекториям, уже не участвуют в отождествлении с подтверждаемыми траекториями).

Алгоритм отождествления состоит из двух этапов – стробирования и точного отождествления. На этапе стробирования для всех пар «*i*-я отметка/*j*-я траектория» вычисляется статистическое расстояние (расстояние Махаланобиса) ρ_{ij} , сравнивается с порогом, выбранным согласно критерию $\chi_m^2(P_g)$ со степенью свободы *m* (равной числу элементов вектора измерения в прямо-угольной СК, т.е. $m = 2$) и заданной вероятностью стробирования P_G . При $\rho_{ij} \leq \gamma$ принимается решение о том, что *i*-я отметка может принадлежать *j*-й траектории. Результат стробирования – матрица стробирования *A* и матрица стоимости *C*.

В каждой строке и в каждом столбце матрицы *A* может оказаться произвольное количество единиц. Поскольку по правилам отождествления одна отметка может быть отнесена не более чем к одной траектории, а одна траектория может получить не более одной отметки, необходимо привести матрицу *A* к стандартному виду матрицы отождествления: не более одной единицы в линии. Данная операция выполняется на этапе точного отождествления.

Указанная задача известна в математике как задача назначения. Ее решение осуществляется при помощи алгоритма назначения Манкреса, который выполняет поиск оптимального решения, минимизируя суммарное расстояние между траекториями и стробированными отметками. Результат его работы – матрица отождествления, у которой на одной линии находится не более одной единицы.

При отождествлении также используется информация о том, что следующая отметка для данной цели может приходиться примерно через обзор (может быть чуть больше или чуть меньше из-за движения цели за период обзора). Если между новой отметкой и последней отметкой траектории прошло не более 0,75 периода обзора РЛС, устанавливается нулевой результат стробирования для всех отметок набора.

В трекере реализован процесс завязки, при котором по каждой отметке, попавшей в строб начальной отметки, завязывается своя траектория, то есть допускается, что в стробе завязки могут быть сразу несколько отметок (однако одна отметка не может быть присоединена к нескольким траекториям). Например, если в стробе находятся две отметки, то завязывается две траектории, у которых первая отметка одинакова (это начальная отметка), а вторые различаются. Предполагается, что одна из этих траекторий является истинной, и она будет подтверждена, а другая – ложной, и она подтверждена не будет.

В программе радарного процессора реализован интерактивный многомодельный фильтр (ИММ). Его преимущество относительно фильтра Калмана (ФК) – возможность более надежного сопровождения маневрирующих целей, недостатки – сложность настройки, возможно менее точное сопровождение на участке прямолинейного движения. Стандартный ФК может быть получен из ИММ просто заданием одной соответствующей модели движения (модели CV, см. о ней далее). Как показывают результаты моделирования, требования п. 58 Приказа № 226 (Радиолокационное сопровождение должно обеспечиваться для маневрирующих целей: ...со скоростью изменения курса не менее $20^\circ/\text{сек}$ (при скорости движения цели 10 узлов) и не менее $2^\circ/\text{сек}$ (при скорости движения цели 70 узлов) для СУДС высшей категории) обеспечиваются ИММ-фильтром, но не обеспечиваются фильтром Калмана.

Суть ИММ фильтра – наличие нескольких параллельно работающих фильтров, настроенных на разные виды движения цели. Каждый фильтр, используя присвоенную отметку (единую для всех моделей), вырабатывает свою оценку, оценивает ее правдоподобие, а затем на основе оценок и правдоподобий всех моделей формируется взвешенная оценка вектора состояния траектории.

Важное положительное свойство ИММ-фильтра – возможность настройки набора моделей и параметры этих моделей под решаемые задачи. В трекере и интеграторе реализован один и тот же ИММ-фильтр, однако его настройки могут отличаться.

В ИММ-фильтре реализованы следующие модели движения.

1. Модель движения с постоянной скоростью – модель CV (Constant Velocity). Базовая модель, согласно которой цель движется прямолинейно и равномерно с неизвестной и подлежащей оценке постоянной скоростью. В этой модели используется фильтр Калмана. Для учета случайных отклонений движения цели от прямолинейного в этой модели вводятся случайные ускорения в виде белого гауссовского шума с нулевым средним и заданным СКО. Величина СКО выбирается такой, чтобы перекрыть диапазон случайных отклонений от постоянной скорости именно на участке прямолинейного движения. Задача соответствовать маневру цели возлагается на другие модели.

Второй способ учета случайных ускорений – экспоненциальное забывание, т.е. увеличение ковариационной матрицы оценки пропорционально заданной эффективной длине окна, отметки за пределами этого окна игнорируются. В ТО реализованы оба этих метода, что обеспечивает гибкость настроек на сопровождение маневрирующей цели, а также определенную адаптацию к изменению ковариации измерений;

2. Модель поворота с постоянной угловой скоростью – модель СТ (Coordinated Turn).

Считается, что цель совершает поворот с известной скоростью, которая задается как параметр модели. Например, если известно, что цель может совершить поворот со скоростью 0,5 град/с, в составе фильтра создается модель СТ, настроенная на эту скорость, и когда цель совершает этот маневр, ее правдоподобие возрастает, и маневр отслеживается преимущественно этой моделью. Если же, как это обычно бывает, значение скорости поворота неизвестно, задается максимальная скорость поворота, на которую рассчитана данная цель. В составе фильтра создается несколько моделей СТ с разными значениями скорости поворота внутри диапазона возможных скоростей.

3. Модель движения с постоянным ускорением – модель СА (Constant Acceleration).

Это модель третьего порядка, согласно которой цель движется с (почти) постоянным ускорением (замедлением). В этой модели задается случайный шум ускорения (можно перестроить фильтр так, чтобы задавать случайную производную ускорения – рывок). Вектор состояния этой модели включает в себя пространственные координаты x, y , скорости v_x, v_y , и ускорения a_x, a_y . Скорости и ускорения оцениваются в ходе фильтрации. Модель СА является расширением модели CV, фильтрация для модели СА более вычислительно затратна, чем модели CV, однако дает возможность учитывать вектор ускорения.

У каждой траектории имеется свой собственный ИММ-фильтр, который характеризуется следующими параметрами:

1. Набор моделей – количество N , типы (CV, СТ или СА) и параметры отдельных моделей движения;
2. Матрица переходных вероятностей, элементами которой являются априорные вероятности смены i -й модели движения на j -ю на каждом очередном шаге фильтрации;

3. Начальные вероятности моделей. Далее в процессе работы это будут текущие вероятности моделей.

При создании каждой новой траектории для нее задается набор моделей, согласно которым для нее будет осуществляться фильтрация.

Как и стандартный алгоритм фильтрации (например, на основе фильтра Калмана), алгоритм ИММ фильтрации состоит из этапов экстраполяции и обновления (собственно фильтрации).

Отождествление. Первоначальное отождествление локальной траектории (ЛТ) с системными траекториями (СТ) производится в ходе отождествления новой траектории с системной. При получении на следующих обзорах очередной отметки «старой» локальной траектории определяется СТ, в состав которой входит данная локальная траектория; этой СТ и передается отметка.

Отождествление АИС-отметки с системной траекторией производится следующим образом. Сначала среди всех СТ ищется такая, которой ранее уже была присвоена отметка с таким же MMSI, как у анализируемой. Если такая траектория находится, отметка передается ей. Если такой траектории нет (это возможно, когда СТ начата по локальной, и у нее пока нет отметок АИС), траектория экстраполируется на момент времени отметки АИС, отметки сравниваются при помощи стробирования (вокруг экстраполированной отметки выстраивается строб, размеры которого пропорциональны ковариациям экстраполированной отметки и отметки АИС, и проверяется попадание отметки АИС в этот строб). Отметка может попасть в стробы нескольких СТ, тогда выбирается та, для которой статистическое расстояние (расстояние Махаланобиса) от экстраполированной отметки является наименьшим. Поскольку отметки АИС содержат измерения вектора скорости цели, стробирование производится в четырехмерном пространстве (две координаты и две составляющие вектора скорости).

После первоначального отождествления СТ с некоторой отметкой АИС к данной СТ автоматически присоединяются все остальные отметки с тем же MMSI, присоединение к ней отметок с другими MMSI невозможно. К СТ, начатой по отметке АИС, отметки с другим MMSI присваиваться также не могут.

При определении возможности присоединения отметки к траектории помимо результатов отождествления учитываются еще два фактора: установленные для траектории режим объединения и запрещенные РЛС.

Режим объединения определяет тип отметок, которые могут быть присоединены к траектории: в режиме 0 и 1 к траектории могут быть присоединены траекторные отметки, в режиме 0 и 2 – отметки АИС. В режиме 3 к траектории присоединяются отметки только того типа, по которой она была начата. Траекторная отметка может быть присоединена к СТ, если номер ее РЛС отсутствует в списке запрещенных данной СТ.

Таким образом, в ходе отождествления сначала для каждой отметки и каждой траектории проверяется возможность отождествления: траекторной отметки – по номеру РЛС и ЛТ,

отметки АИС – по номеру MMSI. Если отметка успешно прошла это отождествление, но не может быть присоединена к траектории из-за режима объединения или номера запрещенной РЛС, отметка не присваивается ни этой траектории, никакой-либо другой – она просто изымается из обработки, потому что и к другим траекториям она также не может быть присоединена – для них она не прошла бы отождествление. По этой же причине по этой отметке не может быть начата новая траектория.

Отметка АИС, для которой не нашлось СТ с таким же MMSI, проходит дополнительную проверку при помощи стробирования на отождествление с СТ, у которых пока нет номера MMSI. К траекториям с режимами объединения 1 и 3 АИС отметка присоединена быть не может, для них результат стробирования с ней будет отрицательный. При установленном режиме 1 АИС отметка исключается из дальнейшей обработки, при режиме 3 по ней начинается новая траектория.

Фильтрация. После присвоения к системной траектории любой отметки, как траекторной, так и АИС, производится фильтрация параметров траектории. Эта процедура является необходимой в ситуации, когда новая и предыдущая отметки принадлежат разным источникам. Если две эти отметки принадлежат одной РЛС, теоретически фильтрация не нужна, т.к. она уже выполнена в РЛС. Однако если у СТ есть отметки не только от данной РЛС, но и от других источников, параметры СТ отличаются от параметров ЛТ, поэтому фильтрацию также следует выполнять – в этом случае траектория получается более гладкой. Таким образом, единственная ситуация, в которой фильтрация не нужна – если СТ строится по отметкам только одной ЛТ, и нет ни других ЛТ, ни отметок АИС. Тем не менее, в Интеграторе предусмотрена возможность фильтровать СТ и в этом случае.

Фильтрация параметров траектории в Интеграторе осуществляется при помощи много-модельного алгоритма, поскольку только он позволяет устойчиво сопровождать цели с различными маневренными характеристиками (используется интерактивный многомодельный фильтр, ИММ).

После того, как РЛС обнаруживает новую (для себя) траекторию, она передает интегратору все отметки новой траектории, установив у каждой флаг TSB=1 (допустимо передавать не все отметки новой траектории, а только их часть). Получив эти отметки, Интегратор выделяет отметки новой ЛТ в отдельный массив. Поскольку в Интеграторе уже может существовать траектория этой цели, сопровождаемая по данным других РЛС и/или АИС, прежде всего следует провести отождествление этой ЛТ с существующими системными траекториями. Если отождествление прошло успешно, траектории объединяются, в противном случае по данному набору отметок создается новая траектория.

В ходе отождествления новой ЛТ с системными из рассмотрения исключаются СТ, у которых:

- режим объединения не позволяет присваивать измерения от РЛС (установлен режим 2 или режим 3 при наличии отметок АИС);

- РЛС, от которой пришла ЛТ, находится в списке запрещенных;
- в составе СТ уже есть ЛТ от этой РЛС.

Поскольку набор отметок новой траектории состоит, в общем случае, из нескольких отметок, то при отождествлении используются все отметки. Для этого вычисляется оценка вектора состояния СТ для моментов времени, соответствующих отметкам локальной траектории и провести стробирование по стандартной методике для пар одновременных отметок.

Общий результат стробирования набора отметок считается положительным, если он положительный хотя бы для одной пары. Если окажется, что для одного набора отметок подходят две и более СТ, выбирается та, для которой суммарное статистическое расстояние между парами отметок минимально (вариант – по количеству пар, для которых результат стробирования положительный)

После успешного отождествления производится объединение набора отметок ЛТ с выбранной СТ. Траектории объединяются при помощи присвоения к СТ последней отметки ЛТ и ее фильтрации. Соответственным образом у СТ корректируется список локальных траекторий.

3.11. Обнаружение и создание новой траектории

Новая траектории начинается по первичной отметке, не отождествленной ни с одной из траекторий и не возвращенной в очередь. В трекаре применен двухэтапный алгоритм обнаружения траектории, реализующий критерий вида $2/L+M/N$, что означает **завязку** траектории по двум отметкам на $L \geq 2$ последовательных обзорах и **подтверждение** траектории после присвоения ей M отметок на $N \geq M$ последовательных обзорах.

Завязка траектории фиксируется после присвоения ей второй отметки в ходе процесса отождествления. Отождествление новой отметки с завязываемой траекторией осуществляется в ходе проверки ее попадания в кольцевой строб, центром которого является первая отметка траектории, радиусы равны произведению минимальной v_{\min} и максимальной v_{\max} скоростям движения сопровождаемых целей на значение временного интервала τ между отметками. Если минимальную скорость принять равной нулю, получится круг с радиусом $v_{\max} \tau$. Для учета погрешностей радиолокационных измерений процедура стробирования дополнена проверкой попадания отметки в эллиптический строб. Если в течение заданных L обзоров траектории не было присвоено отметок, траектория уничтожается.

Подтверждение завязанной траектории фиксируется, если в течение N последовательных обзоров ей было присвоено не менее M отметок от этой или любой другой РЛС, причем это происходит сразу после присвоения M -ой отметки, что может произойти еще до истечения N обзоров. Отождествление для подтверждаемых траекторий производится точно так же, как и

для сопровождаемых траекторий (т.е. стробированием). Если в течение заданных N обзоров траектории было присвоено менее M отметок, траектория сбрасывается и уничтожается.

В цикле ТО интегратора обрабатываются данные двух видов: траекторные отметки локальной траектории от некоторой РЛС или измерения от АИС. Траекторные отметки, посылаемые трекером, могут принадлежать уже давно сопровождаемым ЛТ (от ЛТ посылается единичная траекторная отметка), либо новым ЛТ (посылается набор траекторных отметок этой новой ЛТ).

Данные, обрабатываемые в очередном цикле ТО, содержат либо набор отметок от некоторой РЛС (единичных и/или новых траекторий), либо одну отметку от АИС. Сначала эти данные отождествляются с существующими системными траекториями. Данные, не отождествленные с системными траекториями, используются для начала новых траекторий. Поскольку единичные траекторные отметки соответствуют ЛТ, которые уже передавались ранее и, следовательно, входят в состав одной из СТ, такие отметки отождествляются. Таким образом, создание новой СТ производится по новым ЛТ и по АИС-отметке.

3.12. Сброс сопровождения траектории

В траекторной обработке критерии завязки, подтверждения и сброса задаются в виде числа отметок, получаемых на заданном количестве обзоров, именно $2/L+M/N-K$, т.е. завязка требует наличия 2-х отметок на L обзорах, подтверждение состоится при наличии не менее M отметок на N обзорах, сброс – при серии из K пропусков подряд.

Траектория последовательно проходит стадии завязываемой, подтверждаемой, сопровождаемой и сброшенной. Переход от одной стадии к другой производится после выполнения соответствующего критерия. В случае невыполнения критерия завязки и сброса в отведенный срок, траектория сбрасывается. После выполнения критерия сброса траектория также сбрасывается. Чтобы не занимать память, сброшенные траектории удаляются.

Проверка критериев для всех траекторий в трекере осуществляется в каждом цикле ТО, в том числе и в пустом цикле, который предназначен только для этой проверки. Проверка критериев выполняется сначала для сопровождаемых, затем для подтверждаемых, и в последнюю очередь – для завязываемых траекторий.

Для сопровождаемых траекторий ('main')

Если траектория получила отметку в данном цикле ТО, выполняется только обнуление счетчика пропусков K .

Если последняя отметка была присвоена ранее, вычисляется, сколько прошло обзоров с момента ее получения (не важно, фильтрованная это отметка или экстраполированная). Если число обзоров больше или равно 1, значит имеет место пропуск и он обрабатывается. Счетчик пропусков увеличивается на найденное число обзоров и проверяется, не достиг ли он значения критерия K . Если да, то сопровождение траектории прекращается, и она

сбрасывается. Если нет, то этой траектории в качестве текущей оценки присваивается экстраполированная отметка.

Для подтверждаемых траекторий ('conf')

Если траектория получила отметку в данном цикле ТО, выполняется инкремент счетчиков обзоров и отметок, проверка критерия успешного подтверждения, т.е. того, что счетчик отметок достиг значения М, если он не выполнен – проверка сброса подтверждения, т.е. того, что счетчик обзоров достиг значения N. В случае успешного подтверждения траектория получает статус сопровождаемой ('main').

Если последняя отметка была присвоена ранее, вычисляется, сколько прошло обзоров с момента ее получения. Если число обзоров больше или равно 1, значит имеет место пропуск и он обрабатывается. Счетчик обзоров увеличивается на найденное число обзоров. Проверяется, не достиг ли он значения критерия N, а также, может ли быть получено необходимое число отметок за оставшиеся до истечения критерия число обзоров. Если хотя бы одно из этих условия выполняется, то подтверждение траектории прекращается. Если не выполнено ни одно условие, то этой траектории в качестве текущей оценки присваивается экстраполированная отметка.

Для завязываемых траекторий ('init')

Если завязываемая траектория получила вторую отметку, процесс завязки считается успешно завершенным, траектория получает статус подтверждаемой ('conf'). Иначе вычисляется, сколько обзоров прошло от начала завязки, т.е. от первой и единственной отметки. Если оно больше, чем задано в критерии завязки L, процесс завязки прекращается, траектория уничтожается.

При необходимости этап подтверждения может быть отключен, для этого следует задать нулевое значение критерия M. В этом случае завязанная траектория сразу получает статус сопровождаемой ('main').

Ручной сброс траектории осуществляется по команде оператора РЛС/СУДС. Данная операция применима только к сопровождаемым траекториям, поскольку сведения о завязываемых и подтверждаемых траекториях оператору недоступны. При ручном сбросе траектории выполняются те же действия, что при автоматическом.

Сопровождение системной траектории завершается, когда ей перестают поступать новые данные – как траекторные от отметки от всех РЛС, так и АИС-отметки.

Последняя отметка локальной траектории, сопровождение которой закончилось в ее РЛС, должна иметь флаг TSE = 1. Получив отметку с таким флагом, Интегратор завершает эту локальную траекторию в составе СТ, в которую она входит. Если при этом у СТ больше не осталось ЛТ, у нее нет или давно не было отметок АИС, сопровождение СТ завершается.

Однако Интегратор не может рассчитывать, что флаг TSE будет обязательно установлен у последней отметки каждой локальной траектории. Например, флаг TSE присутствует только

в отметках ASTERIX cat.062 (в cat.048 его нет), этот флаг в последней отметке может оказаться не установлен, последняя отметка может не дойти до Интегратора и т.д. Поэтому наряду с проверкой флага в Интеграторе присутствует логика завершения локальной траектории при фиксации отсутствия у нее отметок в течение заданного времени T_{del} , при этом $T_{del i}$ для каждой i -й РЛС может быть задано отдельно. В трекаре i -й РЛС устанавливается критерий сброса траектории вида « K_i пропусков подряд». Тогда $T_{del i}$ в Интеграторе должно быть не меньше, чем $K_i T_{обз i}$, где $T_{обз i}$ – период обзора в i -й РЛС. Таким образом, локальная траектория некоторой СТ будет завершена в двух случаях: если для нее получена отметка с $TSE = 1$, или с момента получения последней отметки прошло более $T_{del i}$.

До тех пор, пока у СТ остается хотя бы одна ЛТ или ей присваиваются отметки АИС, ее сопровождение продолжается. Сброс сопровождения траектории происходит, если у нее нет локальных траекторий, а с момента получения последней АИС отметки прошло время, превышающее $T_{del AIS}$. После сброса сопровождения траектория уничтожается.

3.13. Формирование выходных данных и пересылка потребителям

Выходными данными трекара, которые передаются Интегратору, являются параметры сопровождаемых траекторий, обновленных на данном цикле ТО (данные о завязываемых и подтверждаемых траекториях Интегратору не передаются). В общем случае это:

- только что обнаруженные траектории;
- сопровождаемые траектории, получившие новые отметки,
- сопровождаемые траектории, которые были экстраполированы;
- сброшенные траектории.

Данные о траекториях оформляются в виде отметок, параметры и формат данных которых соответствуют протоколу ASTERIX cat.062.

Выходными данными Интегратора, которые должны быть переданы Индикатору, являются параметры системных траекторий, обновленных на данном цикле ТО. В общем случае это:

- вновь обнаруженные СТ;
- уже сопровождаемые СТ, получившие новые отметки,
- уже сопровождаемые СТ, которые были экстраполированы;
- сброшенные СТ.

Данные о траекториях оформляются в виде отметок, параметры которых соответствуют формату протокола ASTERIX cat.062.

4. Затрачиваемые ресурсы

Минимальные требования к программе радарного процессора представлены в таблице 20.

Таблица 1 – Минимальные требования к программе радарного процессора

Компонент	Конфигурация
Центральный процессор	Intel® Core 4 ядра с частотой не ниже 2.4GHz или аналог
Оперативная память	4 ГБ

5. Входные и выходные данные

Программа радарного процессора взаимодействует с программным обеспечением изделия применения следующим образом:

- в части экстрактора входные и выходные данные поступают и формируются в соответствии с протоколом ASTERIX 240;
- в части трекера входные и выходные данные поступают и формируются в соответствии с протоколами ASTERIX cat.048 и ASTERIX cat.062 соответственно.
- в части интегратора входные и выходные данные поступают и формируются в соответствии с протоколом ASTERIX cat.062.