



**СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Военный учебный центр



**ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ
ИНФОРМАЦИИ В АСУ**

**Тема № 2 Автоматизация вторичной
обработки РЛИ**

**Занятие № 12 Стробирование координатных
точек**

**Руководитель занятия:
доцент кафедры АСУ ВКС
капитан Тяпкин И.В.**

Учебные вопросы:

- 1. Факторы, определяющие форму и размеры строга.**
- 2. Методы стробирования координатных точек.**

Литература

1. В.Н. Ратушняк, С.В. Бейльман, И.В. Тяпкин. **Основы обработки и передачи информации в автоматизированных системах управления. Часть II Вторичная обработка радиолокационной информации.** – Красноярск: СФУ ВУЦ, 2020 – С. 145 - 155.
2. **Виноградов А.П. Основы обработки радиолокационной информации. Ч.2 Вторичная обработка радиолокационной информации.** – СПб: ФВУ ПВО, 2002 – С.82 - 88

Учебный вопрос №1

**Факторы, определяющие форму
и размеры строба.**

Стробирование координатных точек

При высоком качестве селекции потока входных данных обеспечивается независимое сопровождение произвольного числа траекторий.

Операция отбора из произвольного числа поступивших на вход вторичной обработки информации отметок истинных координатных точек и их «привязки» к сопровождаемым (обнаруживаемым) траекториям при анализе произвольного числа координатных точек, поступающих на обработку, называется *селекцией траекторий*.

В процессе её выполнения решается одноименная задача, которая формулируется следующим образом:

1. Пусть траектория ЛО представлена в прямоугольной системе координат X, Y совокупностью n измерений.

2. В результате выполнения операций сглаживания и экстраполяции получены взвешенные оценки координат и параметров движения ЛО на момент n -го обзора, а также вычислены координаты ЭТ на момент времени t_{n+1} .

3. В момент времени t_{n+1} вместе с истинной КТ вблизи сопровождаемой траектории получены ложные отметки и КТ, принадлежащие другим траекториям.

4. Необходимо из этой произвольной совокупности полученных КТ отобрать для продолжения траектории только одну КТ, вероятность принадлежности которой к сопровождаемой траектории максимальна.

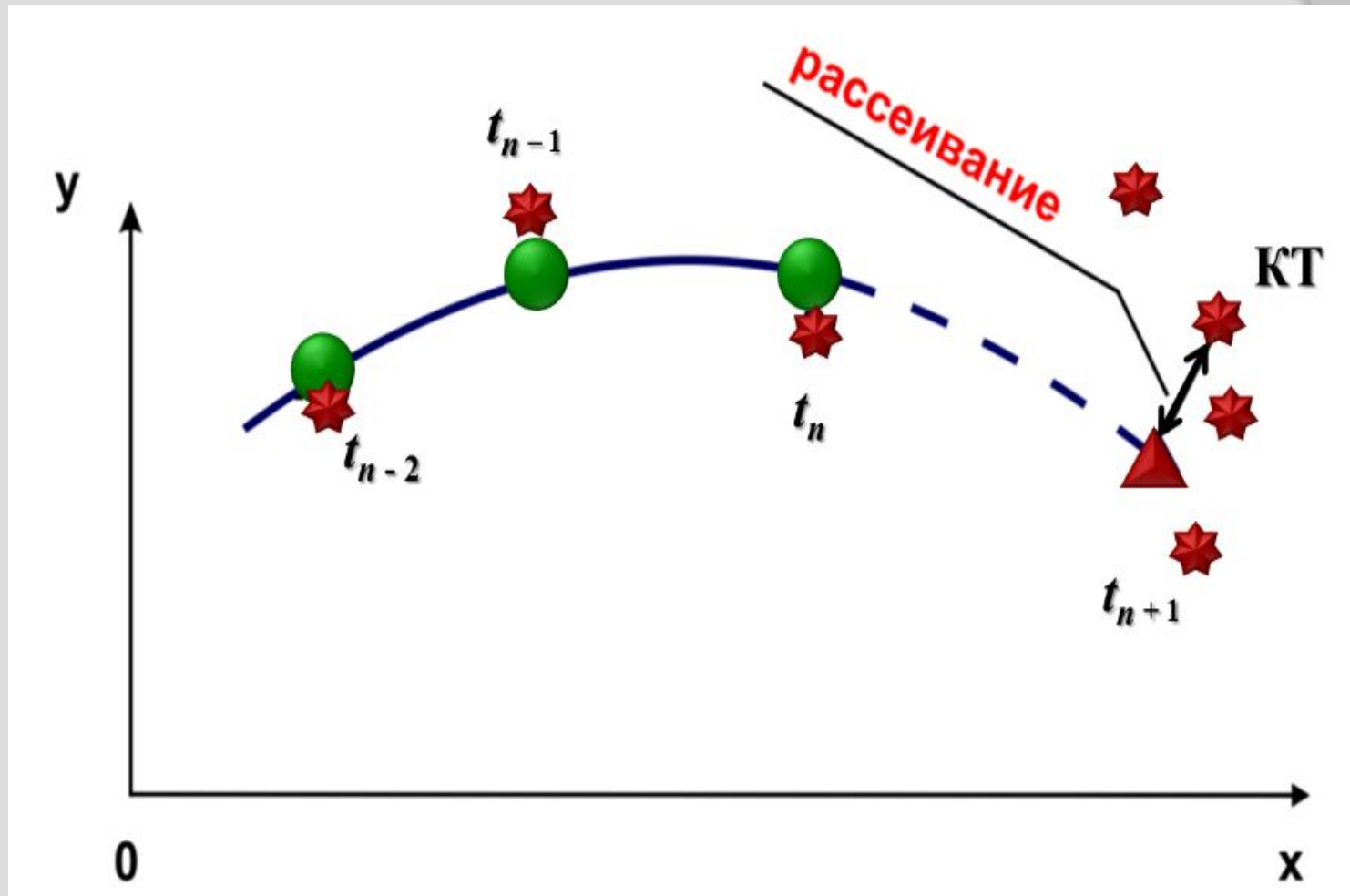


Рис. 1. Отбор КТ и их привязка к траекториям

Как видно из рис. 1, отбор КТ и их привязка к траекториям осуществляется на основе сравнения новых отметок с координатами ЭТ и характеристиками сопровождаемых траекторий.

Но даже в этом случае выполнение данной операции в реальных условиях обработки информации является непростой задачей, так как координатные точки в явном виде не содержат сведений о их принадлежности к тем или иным траекториям. Поэтому при селекции траекторий **анализируется косвенный параметр** – *взаимное отклонение координатной и экстраполяционной точек*. Так как данный параметр является случайным, а в окрестности экстраполяционной точки могут находиться ложные КТ и КТ других траекторий, то селекция траекторий относится к числу статистических операций.

Координатные точки, достаточно удаленные от экстраполяционной точки, не могут принадлежать к анализируемой траектории. Поэтому для уменьшения объема вычислений операция селекции обычно разбивается на два этапа – стробирование и сличение.

Стробирование состоит в выявлении координатных точек, находящихся в области вероятного местоположения локационного объекта.

Сличение заключается в отборе одной из стробированных координатных точек, с большой долей вероятности принадлежащей к анализируемой траектории.

Селекция потока входных данных направлена на выявление ложных КТ и исключение их из дальнейшей обработки, отбор и отождествление истинных КТ со своими траекториями.

Факторы, определяющие форму и размеры строга

В общем виде операция стробирования координатных точек сводится к проверке выполнения условия

$$\left| R_{\text{КТ}i} - R_{\text{ЭТ}j} \right| < R_{\text{стр}}, \quad (1)$$

где $R_{\text{КТ}i}$ – вектор координат i – й КТ, $i=1, \dots, N_{\text{КТ}}$;

$N_{\text{КТ}}$ число КТ, поступивших на обработку в текущем обзоре;

$R_{\text{ЭТ}j}$ – вектор координат j -й ЭТ;

$j=1, \dots, N_{\text{ЭТ}}$;

$N_{\text{ЭТ}}$ - число сопровождаемых и обнаруживаемых траекторий;

$R_{\text{стр}}$ - радиус-вектор, представляющий пороговое значение стробирования КТ.

Согласно соотношению (1), **стробирование предусматривает:**

1. определение области вероятного нахождения истинной КТ анализируемой траектории, т. е. расчет параметров строга $R_{\text{стр}}$;
2. выявление координатных точек, попавших в выделенную область.

Строб – это минимальная область пространства, в пределы которой гарантируется попадание КТ анализируемой траектории с вероятностью, близкой к единице.

Указанное требование имеет следующий физический смысл: при необоснованном увеличении области стробирования повышается вероятность попадания в строб ложных КТ и КТ других траекторий. Заведомо малые размеры строга приводят к снижению вероятности стробирования истинной КТ, что эквивалентно уменьшению вероятности правильного обнаружения при первичной обработке РЛИ.

Первым фактором, определяющим область стробирования, являются погрешности измерения координат. Вероятный разброс измеренных координат относительно их истинных значений в горизонтальной плоскости характеризуется эллипсом ошибок.

Область стробирования КТ в горизонтальной плоскости, определяемая первым фактором, ограничена эллипсом ошибок измерения координат (рис. 2, *a*). Центром эллипса являются истинные координаты цели $[X(a, t_n), Y(b, t_n)]$.

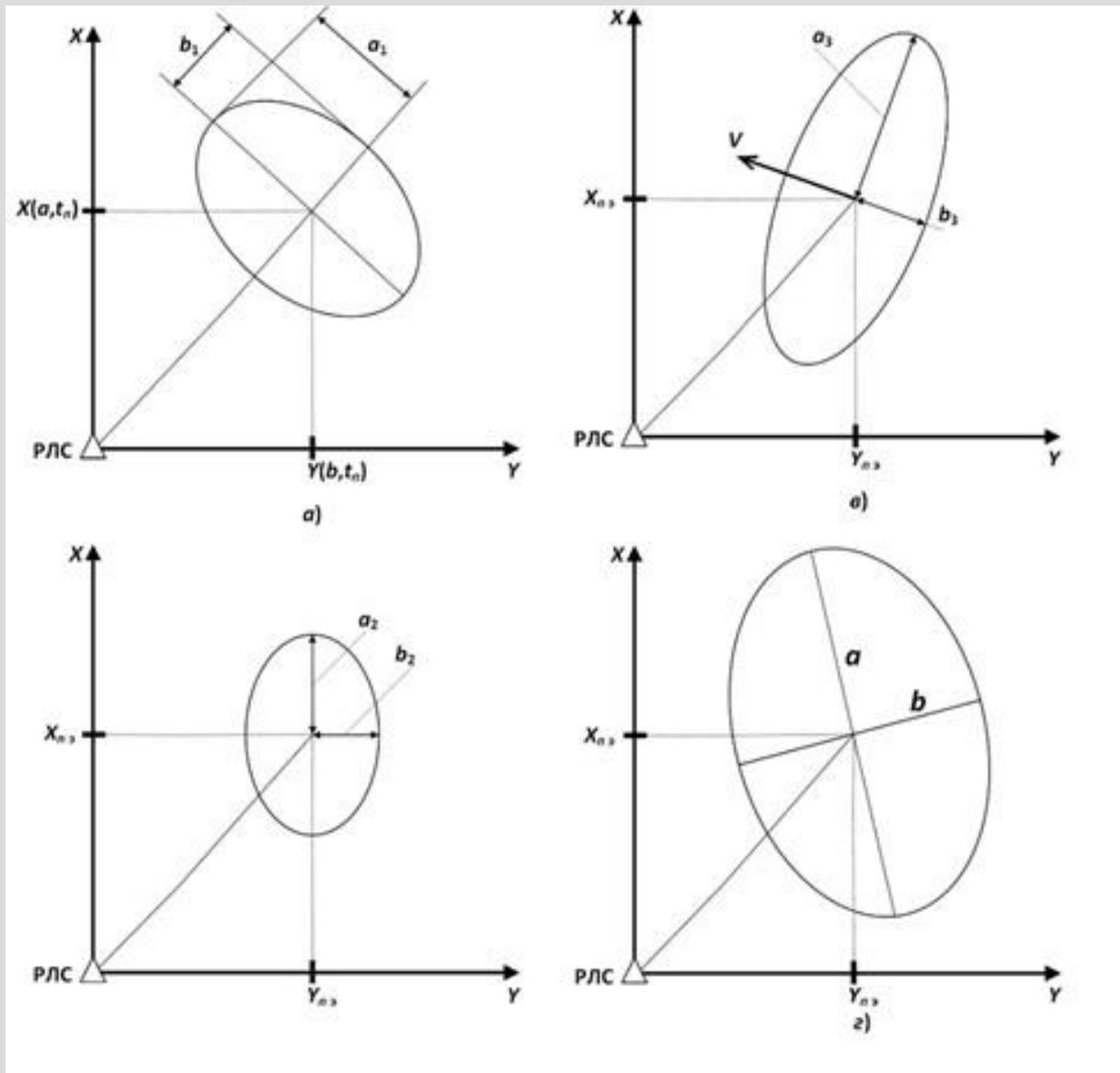


Рис. 2. Анализ параметров строба

Размеры полуосей эллипса определяются среднеквадратическими погрешностями измерения азимута (σ_β) и дальности (σ_r):

$$a_1 = kr\sigma_\beta; b_1 = k\sigma_r,$$

где r – дальность КТ (цели);

k - коэффициент интервальной погрешности, определяющий вероятность стробирования истинной КТ.

При $k=3$ эта вероятность, согласно правилу «трех сигм», близка к единице. Дальнейшее увеличение коэффициента k не приводит к заметному росту вероятности $P_{\text{стр}}$.

Координаты цели $X(a, t_n)$, $Y(b, t_n)$, причем до момента ее локации, неизвестны. Поэтому в качестве центра строга используют экстраполированные координаты $X_{nэ}$, $Y_{nэ}$, математические ожидания которых при отсутствии маневра равны истинным координатам: $M\{X_{nэ}\} = X(a, t_n)$; $M\{Y_{nэ}\} = Y(b, t_n)$.

Однако совпадение не означает отсутствия погрешностей экстраполяции. Поэтому **вторым фактором**, влияющим на форму и размеры строга, будут погрешности экстраполяции координат $\delta X_э$, $\delta Y_э$. Разброс данных погрешностей относительно истинных координат локационного объекта в горизонтальной плоскости характеризуется эллипсом ошибок экстраполяции координат.

Ориентация и размеры полуосей эллипса ошибок экстраполяции зависят от метода оценивания параметров траектории. При независимой обработке информации по координатам X , Y оси эллипса ошибок экстраполяции (рис. 2, б) параллельны координатным осям.

Значения полуосей данного эллипса пропорциональны среднеквадратическим ошибкам экстраполяции координат:

$$a_2 = k\sigma_{хпэ};$$

$$b_2 = k\sigma_{упэ}.$$

В процессе устойчивого сопровождения траектории (при отсутствии пропусков КТ) полуоси эллипса a_2 , b_2 должны уменьшаться от обзора к обзору ввиду повышения точности экстраполяции, а при пропусках КТ – увеличиваться.

Третьим фактором, влияющим на параметры строба, является динамическая погрешность экстраполяции координат, возникающая при маневре цели. Поскольку начало маневра заранее не известно, то данный фактор должен учитываться и для неманеврирующих целей.

На участке маневра математические ожидания экстраполированных координат $[M\{X_{nэ}\}, M\{Y_{nэ}\}]$ отличаются от истинных $[X(a, t_n), Y(b, t_n)]$ на значения динамических погрешностей $\Delta X_{д}, \Delta Y_{д}$. Поэтому координаты центра строга прогнозируются со смещениями $\Delta X_{д}, \Delta Y_{д}$, максимальные значения которых зависят от маневренных возможностей локационных объектов.

Как показывают исследования, возможности маневра по курсу проявляются сильнее, чем по скорости. Поэтому возможное отклонение ЭТ за счет маневра (рис. 2, в) ограничивается эллипсом, малая полуось которого b_3 совпадает с вектором скорости V .

Итог проведенного анализа показывает, что область стробирования КТ, учитывающая погрешности измерения и экстраполяции координат, находят путем сложения трех эллипсов. В результате образуется область (рис. 2, ε), ограниченная некоторым эллипсом. Значения полуосей a , b данного эллипса определяются согласно правилу сложения независимых случайных векторных отклонений. Если оси исходных эллипсов совпадают, то полуоси результирующего эллипса определяются выражениями

$$a = \sqrt{a_1^2 + a_2^2} + a_3;$$

$$b = \sqrt{b_1^2 + b_2^2} + b_3,$$

т. е. случайные погрешности суммируются по правилу сложения дисперсий, а динамические ошибки – независимо.

В общем случае (рис. 2, а, б, в) ориентация осей исходных эллипсов различна. Поэтому направления полуосей области стробирования и их значения a , b (рис. 2, г) определяются более сложными зависимостями. Нередко эллиптическому характеру отклонения КТ относительно ЭТ ставится в соответствие двумерное нормальное распределение N . При таком подходе граница области стробирования совпадает с эллипсом равновероятных отклонений, т. е. размеры строга передаются значениями $a=k\sigma_a$, $b=k\sigma_b$, где $k=3$.

Учебный вопрос №2

Методы стробирования координатных точек.

Оптимальное (эллиптическое) стробирование, требующее оценки значительного числа случайных параметров, практически не реализуемо ни аппаратными, ни программными средствами.

Поэтому используют упрощенные методы формирования строга. При этом, однако, остается в силе основное требование к строгу: вероятность попадания в его пределы истинной КТ должна быть близка к единице. Выполнение данного требования неизбежно приводит к увеличению размеров области стробирования по сравнению с оптимальными значениями. В связи с этим мерой качества стробирования может служить отношение размеров областей реализуемого и оптимального строга.

В большинстве случаев область стробирования в плоскости ограничивается сторонами прямоугольника или окружностью. Центр строга задается экстраполированными координатами. Граница области стробирования рассчитывается с учетом вероятного положения эллипса суммарных погрешностей. Поэтому **размеры строга** по каждой независимой координате определяются двумя слагаемыми – максимальной случайной погрешностью и максимальной динамической ошибкой, т. е.

$$R_{\text{стр}} = R_{\text{сл. макс}} + R_{\text{д. макс}}. \quad (2)$$

При оценке $R_{\text{сл. макс}}$ используют два правила:

1. правило «трех сигм» - $R_{\text{сл. макс}} = k\sigma_{\text{сл}} = 3\sigma_{\text{сл}}$;
2. правило сложения дисперсий независимых случайных величин (погрешностей измерения и экстраполяции координат) $\sigma_{\text{сл}}^2 = \sigma_{\text{и}}^2 + \sigma_{\text{э}}^2$.

Максимальная динамическая ошибка $R_{Д.макс}$ зависит от маневренных возможностей цели, а также продолжительности процессов обнаружения маневра и изменения алгоритмов сглаживания и экстраполяции.

Прямоугольное стробирование обычно выполняется в полярной системе координат (см. рис. 3, *a*). Область стробирования в таком случае ограничивается по дальности ($2\Delta r_{стр}$) и азимуту ($2\Delta\beta_{стр}$), т. е. т. е. условие (1) задается двумя неравенствами:

$$\left| \beta_{кТi} - \beta_{эТj} \right| < \Delta\beta_{стр}; \quad \left| r_{кТi} - r_{эТj} \right| < \Delta r_{стр}. \quad (3)$$

Согласно правилу (3), i -я КТ считается попавшей в область j -го строга, если выполняются условия стробирования как по азимуту, так и по дальности.

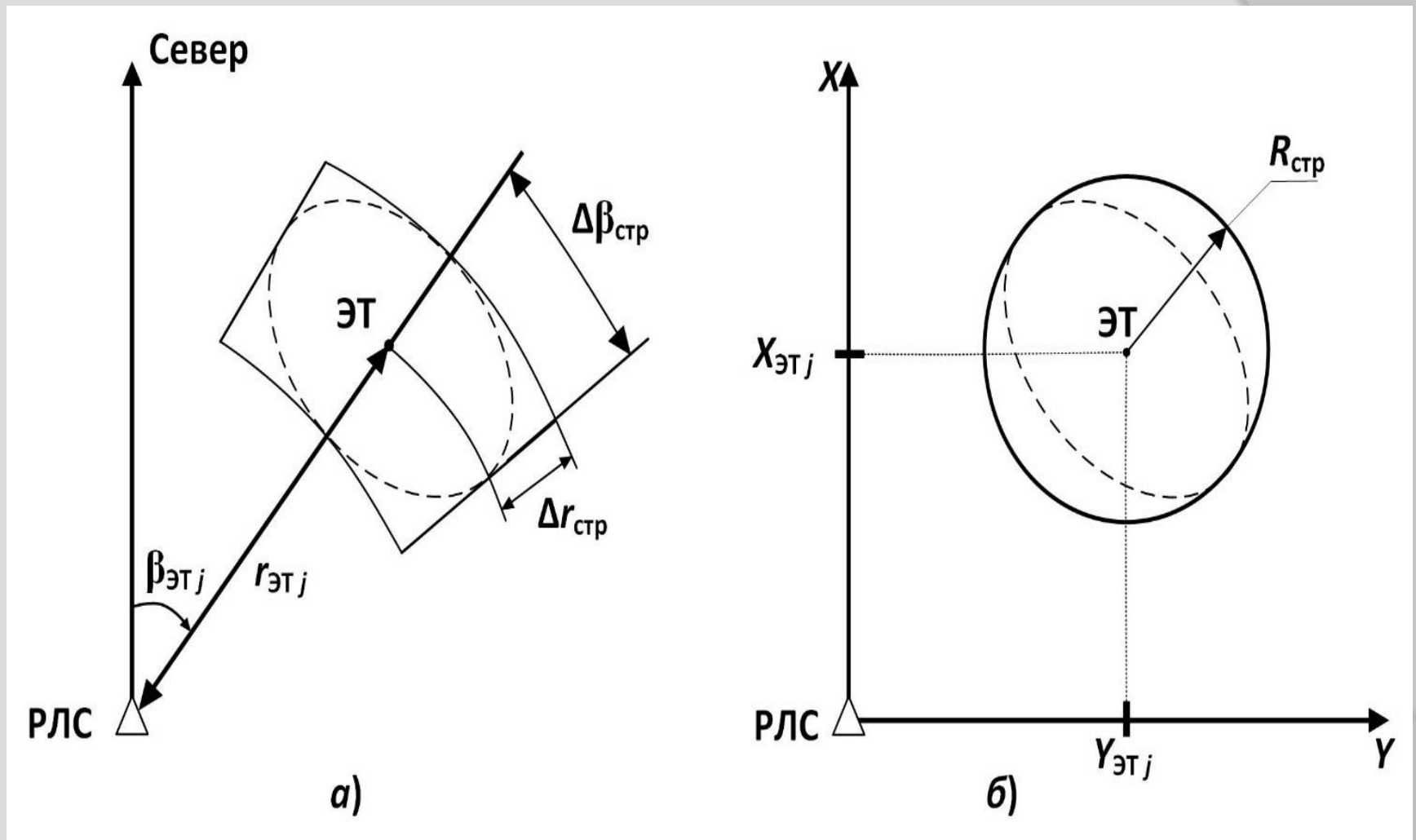


Рис. 3. Практически реализуемые типы стробов

Поскольку площадь прямоугольного строга

$$S_{\text{пр}} = 2R_{r\text{стр}} 2R_{\beta\text{стр}} \quad (4)$$

где $2R_{r\text{стр}}$, $2R_{\beta\text{стр}}$ – линейные размеры строга, а площадь эллиптического строга $S_{\text{эл}} = \pi ab$, то отказ от оптимальной операции приводит к увеличению площади стробирования в S_1 раз:

$$S_1 = \frac{S_{\text{пр}}}{S_{\text{эл}}} = \frac{2R_{r\text{стр}} 2R_{\beta\text{стр}}}{\pi ab} = \frac{4ab}{\pi ab} = 4 / \pi. \quad (5)$$

Реальное увеличение площади прямоугольного строга несколько больше приведенного, так как значения и ориентация полуосей эллипса (a , b) оцениваются приблизительно и поэтому величина пороговых значений ($R_{\beta\text{стр}}$, $R_{D\text{стр}}$) устанавливается с некоторым запасом.

При стробировании в прямоугольной системе координат граница строба в горизонтальной плоскости нередко задается окружностью радиуса $R_{\text{стр}}$ (рис. 3, б). Условие стробирования (1) в таком случае принимает вид:

$$\left(X_{\text{кт}i} - X_{\text{эт}j} \right)^2 + \left(Y_{\text{кт}i} - Y_{\text{эт}j} \right)^2 < R_{\text{стр}}^2, \quad (6)$$

т. е. i -я КТ относится к области j -го строба, если ее отклонение от экстраполяционной точки не превышает фиксированного значения $R_{\text{стр}}$.

При формировании кругового строга его радиус $R_{\text{стр}}$ определяется суммой больших полуосей эллипсов погрешностей измерения, экстраполяции и маневра, что обеспечивает вероятность стробирования истинной КТ не ниже, чем при эллиптическом стробировании. При этом, однако, площадь стробирования увеличивается в s_2 раз:

$$s_2 = \frac{S_{\text{кр}}}{S_{\text{эл}}} = \frac{\pi R_{\text{стр}}^2}{\pi a b} = \frac{R_{\text{стр}}^2}{a b}. \quad (7)$$

С учетом того, что радиус строга $R_{\text{стр}}$ не меньше большей полуоси эллипса, увеличение площади пропорционально коэффициенту сжатия эллипса.

При ограниченной производительности ЭВМ, реализующей вторичную обработку РЛИ, используют простейший метод стробирования, при котором размеры стробов образуют ограниченный ряд значений. Минимальный и максимальный размеры кругового строба в горизонтальной плоскости обычно определяются значениями $R_{\text{мин}} = 3...4$ км и $R_{\text{макс}} = 10...12$ км соответственно. Размер строба по высоте задается одним или двумя значениями, например $h_{\text{стр1}} = 6$ км и $h_{\text{стр2}} = 12$ км.

Задача № 1

Рассчитать размеры строга сопровождения, если

Вариант № 1	Вариант № 2	Вариант № 3
$\sigma_{xn} = 1$ км	$\sigma_{xn} = 2$ км	$\sigma_{xn} = 3$ км
$\sigma_{yn} = 1$ км	$\sigma_{yn} = 1$ км	$\sigma_{yn} = 2$ км
$\sigma_{xэ} = 0,8$ км	$\sigma_{xэ} = 1,5$ км	$\sigma_{xэ} = 2,0$ км
$\sigma_{yэ} = 0,8$ км	$\sigma_{yэ} = 2,0$ км	$\sigma_{yэ} = 2,0$ км
$Kx = Ky = 0,4$	$Kx = Ky = 0,7$	$Kx = Ky = 0,6$
$\gamma = 0,82$	$\gamma = 0,65$	$\gamma = 0,72$

Логика решения задачи

Как известно, в системах ВОИ применяют прямоугольные стробы, размеры которого близки оптимальному стробу

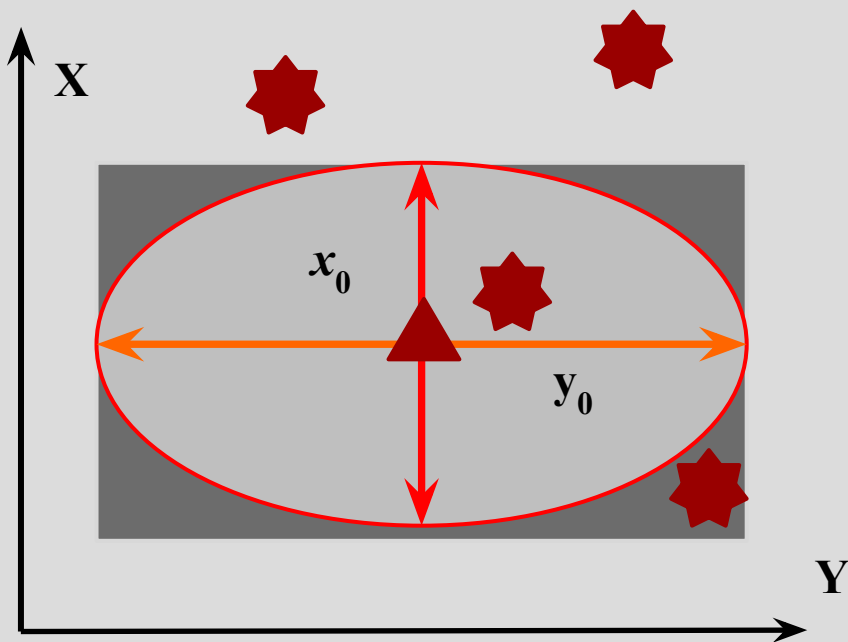
$$\begin{aligned} \Delta x_{стр} &= 0,9 x_0; \\ \Delta y_{стр} &= 0,9 y_0 \end{aligned} \quad (1)$$

где x_0 и y_0 – полуоси оптимального строба, которые соответственно равны:

$$\begin{aligned} x_0 &= \gamma \sigma_{\Delta x}; \\ y_0 &= \gamma \sigma_{\Delta y} \end{aligned} \quad (2)$$

В выражении (2) $\sigma_{\Delta x}$ и $\sigma_{\Delta y}$ – суммарная СКО, составляющими которой являются СКО измерения КТ (ПОИ) и экстраполяции (ВОИ)

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\Delta x}^2 &= \sigma_{xn}^2 + \sigma_{xэ}^2 + 2K_x \sigma_{xn} \sigma_{xэ}; \\ \sigma_{\Delta y}^2 &= \sigma_{yn}^2 + \sigma_{yэ}^2 + 2K_y \sigma_{yn} \sigma_{yэ} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$



Последовательность решения задачи

В соответствии с выражением (3) необходимо найти значение дисперсий двумерного нормального закона распределения суммарных ошибок :

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\Delta x}^2 &= \sigma_{xn}^2 + \sigma_{xэ}^2 + 2K_x \sigma_{xn} \sigma_{xэ} ; \\ \sigma_{\Delta y}^2 &= \sigma_{yn}^2 + \sigma_{yэ}^2 + 2K_y \sigma_{yn} \sigma_{yэ} \end{aligned} \right\}$$

После извлечения квадратного корня получим значения суммарной СКО $\sigma_{\Delta x}$ и $\sigma_{\Delta y}$ по координатам X и Y.

Подставляя в выражение (2) значения суммарных СКО $\sigma_{\Delta x}$ и $\sigma_{\Delta y}$, определяем значения размеров полуосей x_0 и y_0 оптимального строга

$$x_0 = \gamma \sigma_{\Delta x};$$

$$y_0 = \gamma \sigma_{\Delta y}$$

Соответственно размеры сторон прямоугольного строга, близкого к оптимальному, равны:

$$\Delta x_{стр} = 0,9 x_0;$$

$$\Delta y_{стр} = 0,9 y_0$$

Задача № 2

В чем заключается сущность методов минимальных эллиптических отклонений и наименьших расстояний?

Вариант № 1		Вариант № 2		Вариант № 3	
$\Delta x_1 = -0,3$ км	$\Delta y_1 = -0,3$ км	$\Delta x_1 = -0,6$ км	$\Delta y_1 = 0,3$ км	$\Delta x_1 = -0,2$ км	$\Delta y_1 = 0,3$ км
$\Delta x_2 = 0,9$ км	$\Delta y_2 = 0,1$ км	$\Delta x_2 = 0,8$ км	$\Delta y_2 = 0,2$ км	$\Delta x_2 = 0,4$ км	$\Delta y_2 = 0,1$ км
$\Delta x_3 = -0,2$ км	$\Delta y_3 = 0,5$ км	$\Delta x_3 = -0,2$ км	$\Delta y_3 = 0,4$ км	$\Delta x_3 = -0,2$ км	$\Delta y_3 = 0,5$ км
$\sigma_{\Delta x} = \sigma_{\Delta y}$		$\sigma_{\Delta x} = 4,5$ км	$\sigma_{\Delta y} = 3,6$ км	$\sigma_{\Delta x} = 1,5$ км	$\sigma_{\Delta y} = 2,0$ км

Сущность метода минимальных эллиптических отклонений состоит в вычислении для каждой из КТ, попавших в строб, их эллиптических отклонений от ЭТ и **выборе в качестве истинной КТ по минимальному значению отклонения λ от ЭТ.**

$$\lambda_i = \sqrt{\frac{\Delta x_i^2}{\sigma_{\Delta x}^2} + \frac{\Delta y_i^2}{\sigma_{\Delta y}^2}}$$

При **одинаковом рассеивании КТ** по координатам X и Y , т.е.:

$$\sigma_{\Delta x} = \sigma_{\Delta y}$$

применяется **метод наименьших расстояний**, в соответствии с которым из совокупности попавших в строб КТ в качестве истинной выбирается отметка с наименьшим отклонением R^2 от ЭТ:

$$R^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2$$

Вопросы для самоконтроля

1. С какой целью выполняется селекция траекторий?
2. На какие этапы и почему разбивается операция селекции траекторий?
3. Поясните понятие «стробирование координатных точек».
4. Запишите соотношение, определяющее стробирование координатных точек, и поясните смысл параметров, входящих в соотношение.
5. Какие основные требования предъявляются к параметрам строга?
6. Какие факторы определяют параметры строга (его центр, форму и размеры)?
7. Какие допущения принимаются при практической реализации операции стробирования координатных точек?

**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ**