

ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

УДК 621.396.962

МНОГОЦЕЛЕВОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ В МНОГОПОЗИЦИОННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

© 2019 г. В. С. Верба¹, В. И. Меркулов¹, *, П. А. Садовский¹

¹АО «Концерн радиостроения "Вега",
Российская Федерация, 121170, Москва, Кутузовский просп., 34

*E-mail: mail@vega.su

Поступила в редакцию 25.09.2018 г.

После доработки 25.09.2018 г.

Принята к публикации 30.10.2018 г.

Рассмотрен алгоритм многоцелевого сопровождения в многопозиционных радиолокационных системах и проведена оценка его эффективности.

DOI: 10.1134/S0033849419080175

ВВЕДЕНИЕ

Одним из направлений, обеспечивающих улучшение основных системных показателей авиационных информационно-управляющих систем (ИУС) [1] – эффективности, живучести, динамичности и информативности – является использование многопозиционного принципа их построения, в рамках которого осуществляется согласованное устойчивое формирование нужных данных от пространственно-разнесенных источников [1].

Однако, использование этого принципа, давая определенные преимущества, требует и значительных усложнений ИУС, обусловленных, прежде всего, появлением еще одного более высокого управленческого уровня, предназначенного для управления пространственным положением позиции в рамках стратегии траекторного управления наблюдением [2] и управления информационными потоками извлечения информации и обмена ею между позициями.

Влияние этих усложнений усиливается при построении авиационных многопозиционных радиолокационных систем (МП РЛС) [3]. Особенно эти усложнения проявляются при использовании в МП РЛС режима многоцелевого сопровождения (МСЦ), поскольку в процессе его осуществления необходимо идентифицировать поступающие сигналы не только по сопровождаемым воздушным объектам (ВО), но и по позициям.

При этом необходимо подчеркнуть, что при решении задач идентификации измерений в МП РЛС необходимо учитывать следующие особенности:

1) каждая позиция измеряет координаты ВО в своей, как правило, полярной системе координат, начало которой связано с центром массы носителя [4, 5];

2) время прихода сигналов, отраженных от одного ВО, на различные позиции в общем случае разное;

3) точность измерения одних и тех же координат на различных позициях может существенно различаться;

4) законы изменения координат одних и тех же ВО для различных позиций могут отличаться друг от друга;

5) пространственное и взаимное расположение позиций изменяются во времени;

6) для управления пространственным положением позиций информация о местоположении ВО должна формироваться непрерывно.

Первая особенность предопределяет необходимость приведения всех измерений, формируемых на каждой позиции, к единой системе координат с общим началом. Остальные особенности предопределяют необходимость использования алгоритмов аналого-дискретной фильтрации [6, 7].

После выполнения процедуры идентификации, остальные этапы МЦС могут быть выполнены на основе алгоритмов сопровождения одиночных ВО в МП РЛС с учетом возрастания числа измерений, поступающих от других позиций. В связи с этим, далее в рамках общей процедуры МЦС основное внимание будет уделено рассмотрению алгоритмов идентификации.

В общем случае задача идентификации измерений при МЦС, при которых общий прогноз корректируется невязками, формируемыми по измерени-

ям всех позиций, в МП РЛС может быть решена различными способами с использованием различных систем координат и различных критериев принятия решений [5] при различных вариантах информационного обмена (активном, пассивном и полуактивном).

Далее будет рассмотрен один из возможных способов МЦС с идентификацией измерений в активной МП РЛС, основанный на использовании порогового критерия.

1. ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

На начальном этапе синтеза алгоритма МЦС необходимо решить три задачи:

- 1) привести измерения всех позиций к единой системе координат с общим началом;
- 2) выбрать конкретный вариант идентификации;
- 3) выбрать конкретный вариант фильтрации.

Первая задача наиболее просто решается в прямоугольной системе координат с общим началом в условной точке.

Значительное увеличение числа измерений, поступающих с различных позиций от каждого ВО (особенно, если число позиций три и более) приводит к существенному повышению требований к вычислительной производительности БВС, что обуславливает целесообразность использования более простого стробового отождествления.

В силу этих особенностей далее на примере двухпозиционной РЛС, работающей в активном режиме, будет рассмотрен наиболее простой стробовый вариант идентификации измерений в прямоугольной системе координат.

В формальном плане постановка задачи формулируется следующим образом.

Для двухпозиционной РЛС необходимо сформировать алгоритм МЦС в рамках следующих допущений.

1. На каждой РЛС известны собственные координаты пространственного расположения x_1, y_1 и координаты другой позиции x_2, y_2 .
2. На каждой позиции используется режим активной локации, при котором в общем случае измеряются дальности D_{ij} до ВО, скорости их изменений \dot{D}_{ij} и бортовые пеленги в горизонтальной φ_{vij} и вертикальной φ_{vij} плоскостях. Здесь $i = 1, 2$ – номер позиции, j – номер ВО.
3. Измерения от одного и того же ВО формируются на позициях в различные моменты времени.
4. Все основные правила принятия решений могут быть получены на примере двухпозиционной РЛС (ДП РЛС) с обменом измерениями [6] в процессе сопровождения двух ВО. Геометрия

взаимного расположения РЛС 1, РЛС 2 и ВО O_{BO1} и O_{BO2} показана на рис. 1. При этом в ДП РЛС первая позиция (РЛС 1), играющая роль ведущей, вторая (РЛС 2), выполняющая роль ведомой, и ВО движутся в произвольных направлениях.

5. В качестве общей будет использована прямоугольная система координат, связанная с центром массы носителя РЛС1.

6. Для текущего оценивания координат ВО будет использован аналого-дискретный фильтр второго порядка [6], позволяющий для линейного процесса вида

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{(x,y)lj}(k) &= \mathbf{\Phi}_{(x,y)l} \mathbf{x}_{(x,y)lj}(k-1) + \mathbf{\xi}_{(x,y)lj} = \\ &= \begin{cases} x_j(k) = x_j(k-1) + \dot{x}_j(k-1)\Delta t, \\ \dot{x}_j(k) = \dot{x}_j(k-1), \\ y_j(k) = y_j(k-1) + \dot{y}_j(k-1)\Delta t, \\ \dot{y}_j(k) = \dot{y}_j(k-1), \end{cases} \end{aligned}$$

при наличии измерений

$$\begin{aligned} \mathbf{z}_{(x,y)ij}(k) &= \mathbf{H}_{(x,y)i} \mathbf{x}_{(x,y)ij}(k) + \mathbf{\xi}_{(x,y)ij} = \\ &= \begin{cases} x_{ij}(k) = x_j(k) + \xi_{xij}, \\ y_{ij}(k) = y_j(k) + \xi_{yij}, \end{cases} \end{aligned}$$

сформировать оценки по правилу

$$\begin{aligned} \hat{x}_j(k) &= x_{эj}(k) + Q_1 K_{x1j11}(k) [x_{иВО1}(k) - x_{эj}(k)] + \\ &+ Q_2 K_{x2j11}(k) [x_{иВО2}(k) - x_{эj}(k)]; \\ \hat{\dot{x}}_j(k) &= \dot{x}_{эj}(k) + Q_1 K_{x1j22}(k) [x_{иВО1}(k) - x_{эj}(k)] + \\ &+ Q_2 K_{x2j22}(k) [x_{иВО2}(k) - x_{эj}(k)]; \\ \hat{y}_j(k) &= y_{эj}(k) + Q_1 K_{y1j11}(k) [y_{иВО1}(k) - y_{эj}(k)] + \\ &+ Q_2 K_{y2j11}(k) [y_{иВО2}(k) - y_{эj}(k)]; \\ \hat{\dot{y}}_j(k) &= \dot{y}_{эj}(k) + Q_1 K_{y1j22}(k) [y_{иВО1}(k) - y_{эj}(k)] + \\ &+ Q_2 K_{y2j22}(k) [y_{иВО2}(k) - y_{эj}(k)], \\ x_{эj}(k) &= \hat{x}_j(k-1) + \hat{\dot{x}}_j(k-1)\Delta t, \quad x_{эj}(0) = x_{j0}; \\ \dot{x}_{эj}(k) &= \hat{\dot{x}}_j(k-1), \quad \dot{x}_{эj}(0) = \dot{x}_{j0}; \\ y_{эj}(k) &= \hat{y}_j(k-1) + \hat{\dot{y}}_j(k-1)\Delta t, \quad y_{эj}(0) = y_{j0}; \\ \dot{y}_{эj}(k) &= \hat{\dot{y}}_j(k-1), \quad \dot{y}_{эj}(0) = \dot{y}_{j0}; \end{aligned} \tag{1}$$

при условии, что $\Delta t \ll T_i$, где T_i – наименьший интервал обращения к ВО объекту РЛС i -ой позиции. В приведенных выше формулах $x_{иВО1}(k)$, $y_{иВО1}(k)$ и $x_{иВО2}(k)$, $y_{иВО2}(k)$ – измерения, сформированные по наблюдениям первой и второй позиций; Q_1 и Q_2 – признаки прихода измерений:

$$Q_{1,2}(k) = \begin{cases} 1, & \text{если измерения есть,} \\ 0, & \text{если измерений нет,} \end{cases}$$

K_{xijmn} и K_{yijmn} , $m, n = 1, 2$, – коэффициенты усиления соответствующих невязок $[x_{иВОij}(k) - x_{эj}(k)]$ и

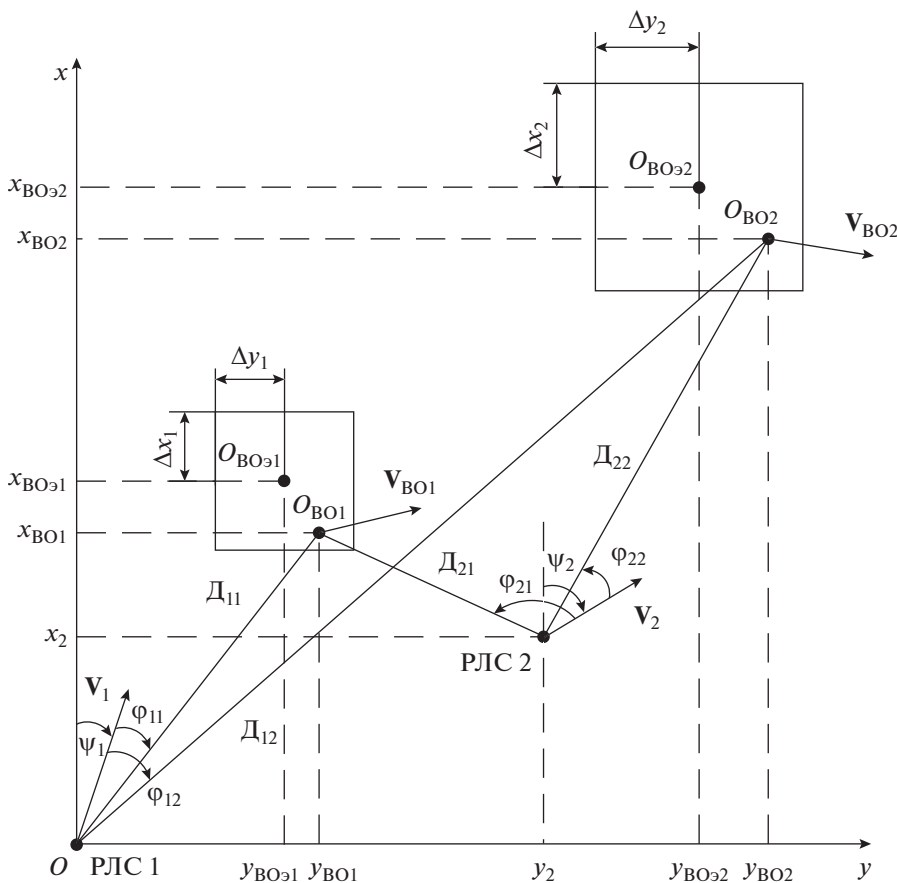


Рис. 1. Геометрия взаимного расположения двухпозиционной РЛС и ВО в горизонтальной плоскости.

$[y_{иВОij}(k) - y_{ij}(k)]$. Эти коэффициенты вычисляются по общему правилу

$$K_{(x,y)ij} = D_{(x,y)j}(k, k-1)H_{(x,y)i}^T \times [H_{(x,y)i}D_{(x,y)j}(k, k-1)H_{(x,y)i}^T + D_{(x,y)ii}]^{-1},$$

$$D_{(x,y)j}(k, k-1) = \Phi_{(x,y)j}D_{(x,y)j}(k-1)\Phi_{(x,y)j}^T + D_{(x,y)j},$$

$$D_{(x,y)j}(k) = [E - Q_i K_{\Phi_{(x,y)ij}} H_{(x,y)i}] D_{(x,y)j}(k, k-1);$$

где $D_{(x,y)j}(k, k-1)$ и $D_{(x,y)j}(k-1)$ – априорная и апостериорная матрицы ошибок фильтрации для соответствующих фильтров; $H_{(x,y)i}$ – матрица измерений соответствующей координаты для i -й позиции; $\xi_{(x,y)j}$ – гауссовы случайные возмущения с матрицей дисперсий $D_{(x,y)j}$; $\xi_{(x,y)ii}$ – гауссовы ошибки измерений, характеризуемые матрицей дисперсий $D_{(x,y)ii}$.

С учетом сделанных допущений после преобразования значений дальностей и бортовых пеленгов в прямоугольные координаты на первой

позиции (РЛС1) получим координаты для первого ВО:

$$\begin{aligned} x_{ВО1} &= D_{11} \cos(\psi_1 + \phi_{11}), \\ y_{ВО1} &= D_{11} \sin(\psi_1 + \phi_{11}), \end{aligned} \tag{3}$$

для второго ВО:

$$\begin{aligned} x_{ВО2} &= D_{12} \cos(\psi_1 + \phi_{12}), \\ y_{ВО2} &= D_{12} \sin(\psi_1 + \phi_{12}). \end{aligned} \tag{4}$$

Аналогичные координаты, сформированные по измерениям второй позиции РЛС2, пересчитанные к первой позиции РЛС 1, определяются соотношениями:

$$\begin{aligned} x_{ВО21} &= D_{21} \cos(\psi_2 + \phi_{21}) + x_2, \\ y_{ВО21} &= D_{21} \sin(\psi_2 + \phi_{21}) + y_2, \end{aligned} \tag{5}$$

для первого ВО и

$$\begin{aligned} x_{ВО22} &= D_{22} \cos(\psi_2 + \phi_{22}) + x_2, \\ y_{ВО22} &= D_{22} \sin(\psi_2 + \phi_{22}) + y_2, \end{aligned} \tag{6}$$

для второго ВО, где ψ_j, ϕ_{ij} – соответственно курсы РЛС 1, РЛС 2 и бортовые пеленги ВО.

Необходимо отметить, что при формировании координат (3)–(6) бортовые пеленги ϕ_{ij} считаются положительными для ВО, расположенных справа от продольной оси ЛА. Если ВО расположены слева, то пеленги считаются отрицательными.

На основе представлений (3)–(6) в РЛС1 формируются косвенные измерения

$$\begin{aligned} x_{иВО11}(k) &= Q_1(k)[x_{и11}(k) + \xi_{иx1}], \\ y_{иВО11}(k) &= Q_1(k)[y_{и11}(k) + \xi_{иy1}], \\ x_{иВО12}(k) &= Q_1(k)[x_{и12}(k) + \xi_{иx1}], \\ y_{иВО12}(k) &= Q_1(k)[y_{и12}(k) + \xi_{иy1}], \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} x_{иВО21}(k) &= Q_2(k)[x_{и21}(k) + \xi_{иx2}], \\ y_{иВО21}(k) &= Q_2(k)[y_{и21}(k) + \xi_{иy2}], \\ x_{иВО22}(k) &= Q_2(k)[x_{и22}(k) + \xi_{иx2}], \\ y_{иВО22}(k) &= Q_2(k)[y_{и22}(k) + \xi_{иy2}], \end{aligned} \quad (8)$$

где $\xi_{иxj}$, $\xi_{иyj}$ – шумы, определяемые ошибками первичных измерений позиций с помощью РЛС и правилами пересчета (3)–(6), позволяющими рассчитать их дисперсии D_{xij} , D_{yij} .

Если в процессе перебора сформированных измерений по всем результатам прогноза (2) для j -го ВО выполняется условие

$$|x_{иВО*} - x_{эj}| \leq \Delta x_j, \quad |y_{иВО*} - y_{эj}| \leq \Delta y_j \quad (9)$$

то принимается решение о принадлежности ему исследуемых измерений, после чего они поступают в алгоритм фильтрации (1) координат этого ВО для коррекции экстраполированных значений. Здесь $x_{иВО*}$, $y_{иВО*}$ – результаты измерений (7), (8), а Δx_j и Δy_j – размер стробов отождествления для j -й цели.

Важным фактором, влияющим на достоверность идентификации, является размер стробов Δx_i и Δy_i . С одной стороны, эти размеры должны обеспечивать попадание результатов измерений от соответствующей ВО внутрь строба при любых законах движения сопровождаемого объекта, а с другой стороны – число попаданий мешающих соседних измерений внутрь строба должно быть минимальным. В наиболее простом варианте, соответствующем гипотезе движения ВО (2) при интервале обращения к ней T_i , размеры стробов, построенных относительно экстраполированных координат $O_{ВОэ1}$, $O_{ВОэ2}$ (рис. 1), определяются соотношениями [4]

$$\begin{aligned} \Delta x_1 &= k_{x1} \sqrt{D_{x1} T_1^2 + 2D_{иx1 \text{ макс}}}, \\ \Delta y_1 &= k_{y1} \sqrt{D_{y1} T_1^2 + 2D_{иy1 \text{ макс}}}, \\ \Delta x_2 &= k_{x2} \sqrt{D_{x2} T_2^2 + 2D_{иx2 \text{ макс}}}, \\ \Delta y_2 &= k_{y2} \sqrt{D_{y2} T_2^2 + 2D_{иy2 \text{ макс}}}, \end{aligned} \quad (10)$$

в которых T_1 и T_2 – интервал обращения РЛС 1 и РЛС 2 к ВО, и учтена необходимость расширения стробов за счет ошибок измерений обеих позиций; D_{x1} , D_{x2} и D_{y1} , D_{y2} – дисперсии производных x_i и y_i ; $D_{иx1 \text{ макс}}$, $D_{иy1 \text{ макс}}$ – максимально возможные дисперсии ошибок измерений одной из позиций. Можно показать, что дисперсии $D_{иx1}$ и $D_{иy1}$ растут с увеличением расстояния до ВО.

Необходимо отметить, что в общем случае, с учетом специфики пересчета координат для идентификации измерений могут быть использованы все приемы, основанные на оценивании параметров модели состояния, анализе невязок измерений и результатов коррекции прогноза, а для оценивания координат наиболее важных ВО – более сложные алгоритмы фильтрации [5]. При этом для упрощения завязки траекторий целесообразно выполнять ее по результатам измерений одной позиции, например, РЛС1.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МНОГОПОЗИЦИОННОЙ РЛС ПРИ МНОГОЦЕЛЕВОМ СОПРОВОЖДЕНИИ

Возможность выполнения МЦС в МП РЛС при стробовой идентификации измерений оценивали по результатам моделирования гипотетического полета двух ВО на пересекающихся траекториях и двух позиций в горизонтальной плоскости (рис. 2) при условии, что РЛС 1 представляет собой импульсно-доплеровскую РЛС с дисперсиями ошибок измерений дальности $D_{д1}$, скорости D_{v1} и бортового пеленга в горизонтальной плоскости $D_{\phi1}$, в то время как вторая позиция является некогерентной РЛС с дисперсиями ошибок измерений дальности $D_{д2}$ и бортового пеленга в горизонтальной плоскости $D_{\phi2}$.

Проведение исследований преследовало следующие цели:

- 1) выяснение возможности осуществления МЦС в МП РЛС со стробовой идентификацией и качественного определения поля условий применения для эффективного функционирования системы;
- 2) оценивание влияния второй позиции на показатели эффективности МП РЛС при МЦС;
- 3) выявление зависимости показателей эффективности от соотношения периодов и времени обращения РЛС-позиций к ВО.

При этом для оценки работоспособности исследуемого варианта МЦС использовалась совокупность качественных и количественных показателей. Качественные показатели характеризовались видом траекторий ВО, формой областей неопределенности, а количественные – погрешностями

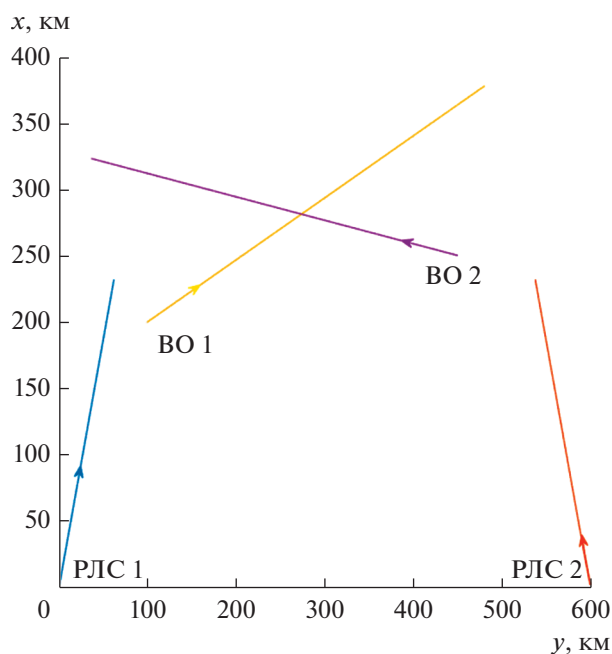


Рис. 2. Траектории полета РЛС 1, РЛС 2 и ВО.

оценок положения ВО в прямоугольной системе координат.

Начальные координаты, скорости и курсы позиций и ВО для одного из вариантов приведены в табл. 1, а СКО измерителей РЛС 1 и РЛС 2 – в табл. 2.

На рис. 3 представлены траектории ВО относительно РЛС 1, а на рис. 4 – полученные СКО ошибок фильтрации. Штриховыми эпюрами на рис. 3 показаны границы строга отождествления для траектории, соответствующей ВО 1, а пунктирными – соответствующей ВО 2. Как видно из рисунка, с увеличением расстояния до ВО размеры строга существенно увеличиваются (более

Таблица 1

Объект	Начальные условия			
	X, км	Y, км	V, м/с	ψ, град
РЛС 1	0	0	200	15
РЛС 2	0	600	200	345
ВО 1	200	100	350	65
ВО 2	250	450	350	320

Таблица 2

Объект	СКО измерителей		
	σ _д , м	σ _v , м/с	σ _φ , град
РЛС 1	200	5	1
РЛС 2	100; 200; 400	–	0.5; 1.5; 3.5

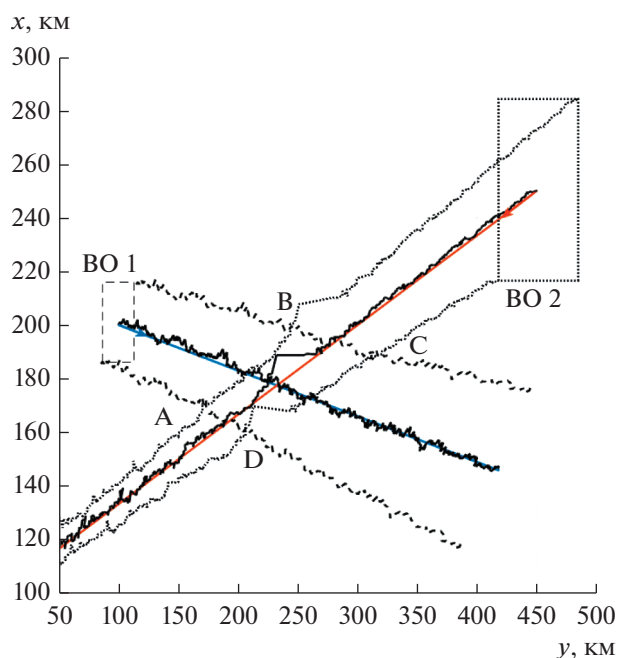


Рис. 3. Сопровождаемые траектории ВО относительно РЛС 1.

двух порядков по площади), что приводит к падению достоверности идентификации, точности сопровождения и ухудшению разрешающей способности.

В общем случае, ошибки МЦС определяются как ошибками идентификации, приводящими к перепутыванию траекторий или срыву сопровождения, так и непосредственно ошибками оценивания алгоритмов фильтрации (1).

Точками А, В, С, D на рис. 3 отмечена зона неопределенности, в которой стробы отождествления для траекторий ВО 1 и 2 совпадают, что при некоторых условиях и может привести к срыву сопровождения или перепутыванию траекторий части ВО (рис. 5).

На рис. 4 приведены зависимости СКО ошибок оценивания координат первого (σ_{1x}, σ_{1y}) и второго (σ_{2x}, σ_{2y}) ВО. При этом отрезку времени от 500 до 580 с соответствует попадание ВО в зону неопределенности (см. рис. 3). Как видно из рис. 3 и 4, после попадания ВО 2 в зону неопределенности, часть измерений, приходящих от него, была присвоена ВО 1, что привело к росту ошибок фильтрации не только ВО 2 из-за длительного периода отсутствия коррекций экстраполяции, но и ВО 1. Также из рис. 4 видно, что достоверность и точность фильтрации зависят и от ракурса ВО.

Необходимо отметить, что размер зоны ABCD зависит от взаимной геометрии расположения, как самих ВО, так и позиций РЛС. Зоны неопре-

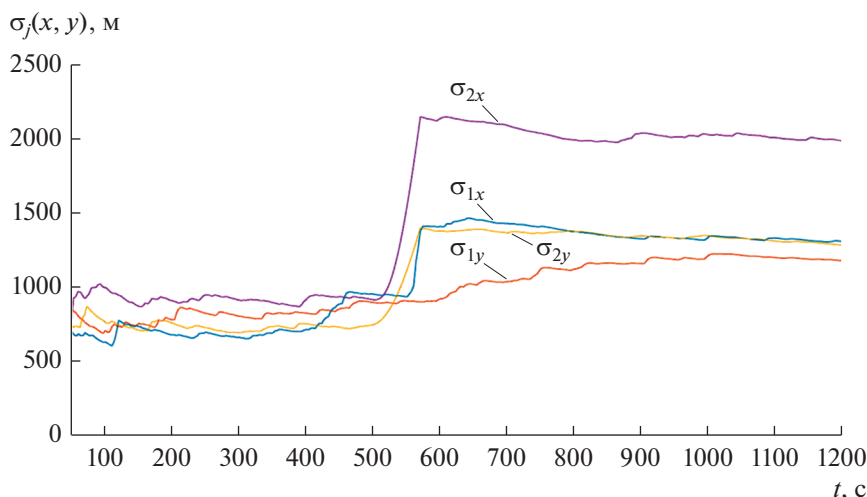


Рис. 4. СКО ошибок фильтрации координат ВО при сопровождении двумя РЛС.

деленности имеют наименьший размер для ортогональных трасс, в то время как для близкорасположенных трасс, характерных для полета строем, эти зоны имеют наибольший размер.

Рисунок 5 иллюстрирует вариант срыва сопровождения ВО1 из-за присвоения ему измерений, приходящих от ВО 2, в момент пересечения траекторий.

Для выяснения влияния РЛС 2 на показатели МЦС проводили два вида исследований. Первый включал в себя качественную оценку путем сравнения показателей точности в одно- и двухпозиционных вариантах. Проведенное исследование показало, что двухпозиционный вариант обладает лучшими показателями точности и устойчивости сопровождения. Однако его количественные показатели в значительной степени зависят от геометрии взаимного расположения позиций и траекторий движения ВО (рис. 6).

Второй вид исследований был посвящен анализу влияния показателей точности РЛС 2 на показатели точности системы. Вариант взаимного расположения позиций и ВО, снижающего влияние геометрии расположения объектов и позиций, приведен на рис. 7.

На рис. 8 и 9 показаны зависимости СКО оценивания координат ВО 1 по оси Oy при различных СКО измерений дальности σ_d и бортового пеленга σ_ϕ . Проведенное исследование показало, что точности первичных измерителей дальности и бортового пеленга влияют на точность функционирования ДПРЛС. При этом точность измерений угловых координат (рис. 9) влияет значительно сильнее по сравнению с точностью дальномерного канала (рис. 8). Причем степень этого влияния зависит от геометрии взаимного расположения ВО и позиций РЛС.

Как видно из рис. 8, изменение точности дальномерного канала в четыре раза изменяет точность сопровождения лишь на 20...25%, в то время как снижение точности угломерного канала в три раза ухудшает точность сопровождения примерно на 50%.

Исследования соотношений периодов обзора позиций РЛС и соотношения времени поступления в единую систему оценивания показали, что наибольшее улучшение точности и устойчивости сопровождения РЛС2 происходит тогда, когда ее измерения приходят примерно посередине интервала T_1 .

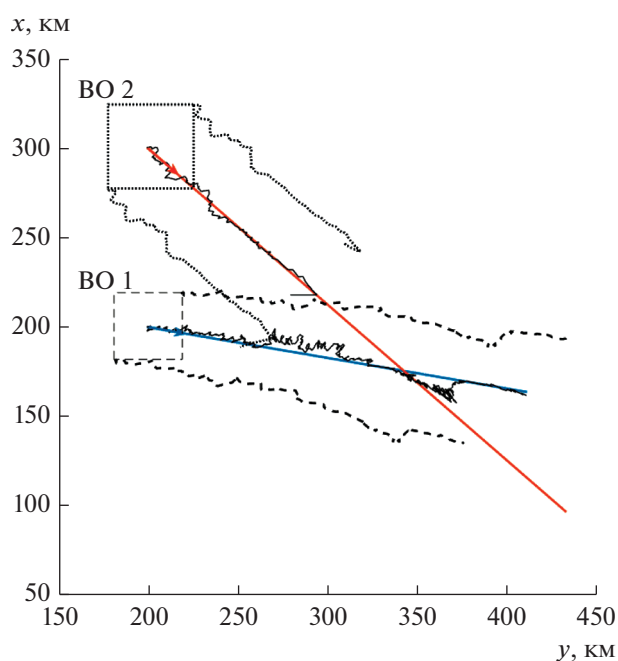


Рис. 5. Вариант срыва сопровождения ВО на близких пересекающихся курсах.

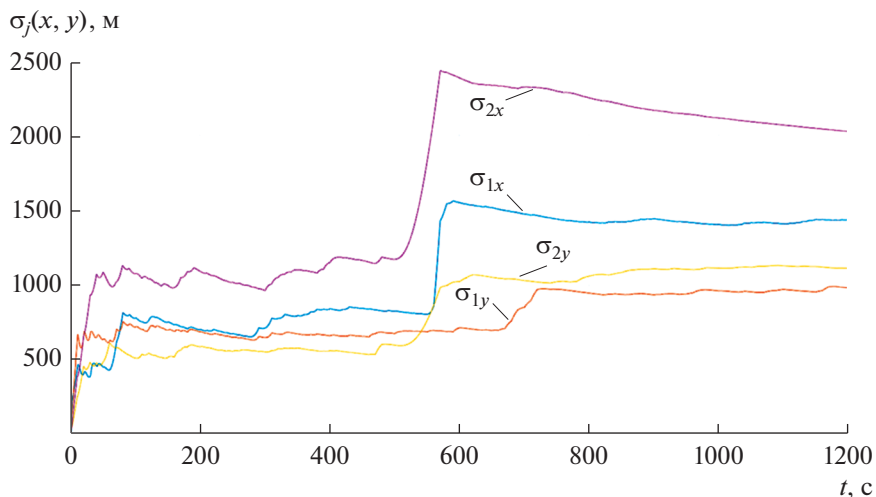


Рис. 6. СКО ошибок фильтрации координат ВО при сопровождении одной РЛС.

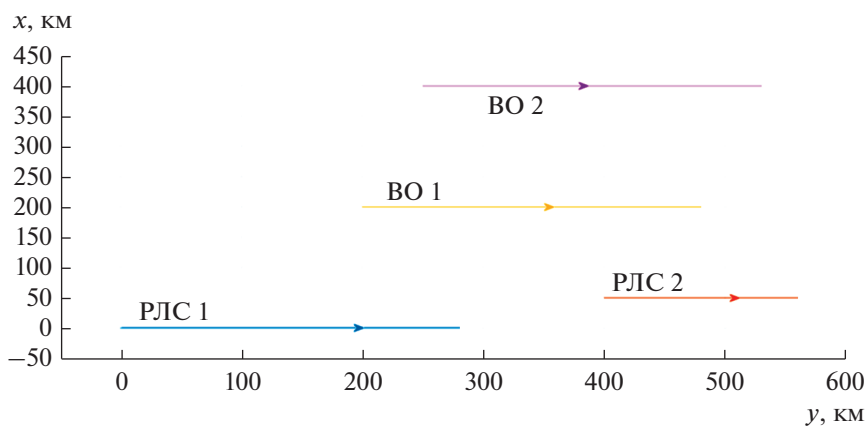


Рис. 7. Траектории полета РЛС 1, РЛС 2 и ВО при исследовании влияния показателей точности РЛС 2.

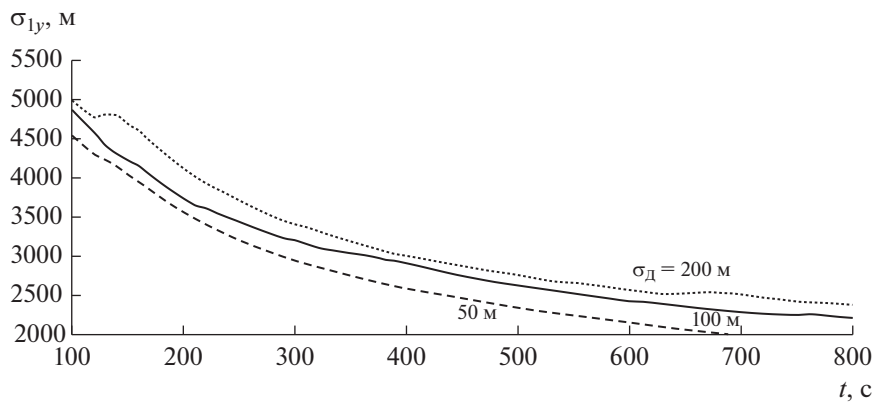


Рис. 8. Влияние точности дальномерного канала РЛС 2 на точность МЦС.

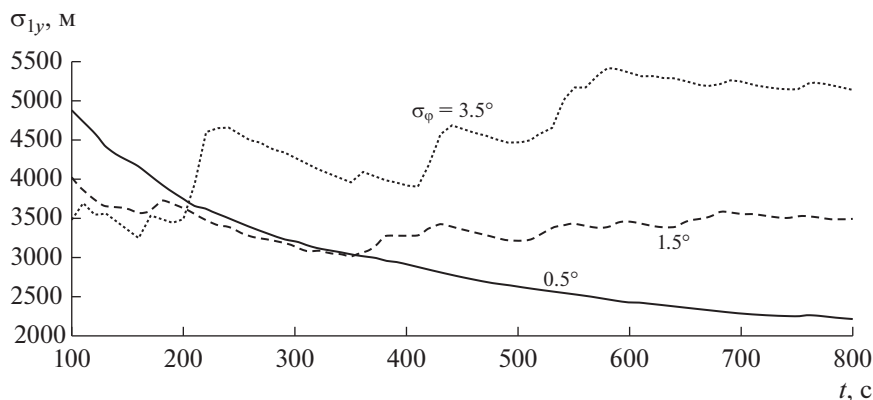


Рис. 9. Влияние точности угломерного канала РЛС 2 на точность МЦС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Как правило, процедура МЦС в МП РЛС включает шесть этапов:

а) измерение локальных координат состояния ВО на позициях;

б) пересчет измерений к единой системе координат;

в) идентификацию (отождествления) измерений;

г) формирование единых оценок в выбранной системе координат;

д) ранжирование ВО по степени важности;

е) формирование направлений облучения ВО с позиций при программируемом обзоре.

2. В общем случае рассмотренному варианту МЦС в МП РЛС присущи все недостатки стробового отождествления. Использование стробового отождествления в прямоугольной системе координат приводит к существенной зависимости размеров строба от дальности, что предопределяет снижение достоверности идентификации измерений и разрешающей способности МП РЛС с увеличением дальности. Кроме того, в значительной мере усиливается нестационарность системы, обуславливающая зависимость показателей точности от геометрии задачи.

3. При сопровождении легко идентифицируемых удаленных ВО (без пересечения стробов отождествления) использование МП РЛС при МЦС позволяет повысить устойчивость и точность сопровождения. Однако устойчивое сопровождение групповых ВО в сомкнутых боевых порядках весьма проблематично.

4. Возможность для целенаправленного управления взаимным расположением позиций в рамках траекторного управления наблюдением для улучшения показателей сопровождения множества ВО весьма проблематична, хотя и может быть реализована для отдельных приоритетных ВО.

5. Весьма сложной становится задача обеспечения согласованного обзора пространства РЛС позиций.

6. В целом, использование МП РЛС для МЦС позволяет улучшить его точность и устойчивость. Однако при этом усиливается нестационарность показателей эффективности, обусловленная их зависимостью от геометрии взаимного расположения ВО и позиций.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 19-08-00060-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Верба В.С.* Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Принципы построения, проблемы разработки и особенности функционирования. М.: Радиотехника, 2014.
2. *Меркулов В.И.* // Журнал радиоэлектроники. 2012. № 1. <http://jre.cplire.ru/jre/jan12/4/text.html>.
3. *Черняк В.С.* Многопозиционная радиолокация. М.: Радио и связь, 1998.
4. *Меркулов В.И., Дрогалин В.В., Канащенков А.И. и др.* Авиационные системы радиоуправления. Т. 2. Радиоэлектронные системы самонаведения / Под ред. Канащенкова А.И. и Меркулова В.И. М.: Радиотехника, 2003.
5. *Ярлыков М.С., Богачев А.С., Меркулов В.И., Дрогалин В.В.* Радиоэлектронные комплексы навигации, прицеливания и управления вооружением летательных аппаратов. Т. 2. Применение авиационных радиоэлектронных комплексов при решении боевых и навигационных задач / Под ред. Ярлыкова М.С. М.: Радиотехника, 2012.
6. *Меркулов В.И., Садовский П.А.* // Радиотехника. 2014. № 7. С. 28.
7. *Меркулов В.И., Верба В.С., Ильчук А.П.* Автоматическое сопровождение воздушных объектов в РЛС интегрированных авиационных комплексов. Т. 1. Теоретические основы. РЛС в составе интегрированного комплекса / Под ред. Вербы В.С. М.: Радиотехника, 2018.
8. *Меркулов В.И.* // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2009. № 8. С. 79.