

Достоверность селекции целей в сети разнесенных радиолокационных станций при совместной обработке радиолокационной информации в условиях ретранслированных помех

Д. В. Левин^а, канд. техн. наук, orcid.org/0000-0002-3480-087X, dm.181@yandex.ru

А. В. Паршуткин^а, доктор техн. наук, профессор, orcid.org/0000-0001-7535-4880

А. В. Тимошенко^б, доктор техн. наук, профессор, orcid.org/0000-0002-9791-142X

^аВоенно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, Ждановская наб., 13, Санкт-Петербург, 197198, РФ

^бНациональный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Шокина пл., 1, Зеленоград, Москва, 124498, РФ

Введение: для выявления целей на коротких интервалах наблюдения используются методы обработки радиолокационной информации, основанные на отождествлении отметок разных радиолокационных станций и параметрической идентификации целей. Однако взаимное сравнение результативности применения таких методов в условиях ретранслированных помех не проводилось. **Цель:** сравнение достоверности селекции целей на фоне ретранслированных помех в сети территориально разнесенных радиолокационных станций обзора пространства при реализации метода корреляционного эллипсоида, метода строга селекции целей и метода пространственного разнеса измеренных положений цели. **Результаты:** приведены решающие правила разбиения пространства разностей координат целей на подобласти принятия решения об истинности целей. Проведено имитационное моделирование селекции целей в условиях ретранслированных помех и получены зависимости изменения вероятности ошибочной селекции ложных отметок от нормированной дальности, отсчитываемой от середины базы разнеса пары территориально разнесенных радиолокационных станций. Приведены количественные оценки достоверности селекции целей для различных условий радиолокационного наблюдения парой территориально разнесенных радиолокационных станций. Выигрыш в увеличении нормированной дальности при применении метода корреляционного эллипсоида по сравнению с методами строга и пространственного разнеса измеренных положений цели составил от 36 до 46 %. Показано, что в большинстве практических ситуаций можно использовать наиболее простой в реализации метод пространственного разнеса измеренных положений цели, а при решении наиболее важных задач – метод корреляционного эллипсоида. **Практическая значимость:** результаты исследований могут применяться при разработке алгоритмов селекции целей в условиях ретранслированных помех.

Ключевые слова – селекция целей, радиолокационная информация, ретранслированная помеха, ложная отметка, корреляционный эллипсоид.

Для цитирования: Левин Д. В., Паршуткин А. В., Тимошенко А. В. Достоверность селекции целей в сети разнесенных радиолокационных станций при совместной обработке радиолокационной информации в условиях ретранслированных помех. *Информационно-управляющие системы*, 2022, № 3, с. 55–66. doi:10.31799/1684-8853-2022-3-55-66

For citation: Levin D. V., Parshutkin A. V., Timoshenko A. V. Reliability of target selection in the network of geographically separated radar stations in joint processing of radar information in the conditions of relayed interference. *Informatsionno-upravliayushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2022, no. 3, pp. 55–66 (In Russian). doi:10.31799/1684-8853-2022-3-55-66

Введение

Современные наземные радиолокационные станции (РЛС) применяются для решения задач контроля пространства на обширных территориях. Для надежного обеспечения указанных задач создаются наземные многопозиционные комплексы, организованные на базе независимо функционирующих РЛС, связанных единой информационной сетью с каналами взаимного обмена данными [1, 2].

Под сетью разнесенных РЛС будем понимать множество независимо функционирующих территориально разнесенных разнодиапазонных РЛС, имеющих совокупность перекрывающихся зон обзора и общую систему обработки результатов радиолокационных измерений [3, 4].

В каждой отдельной РЛС прием сигналов, отраженных от целей, ведется на фоне различных излучений естественного и искусственного происхождения и собственных тепловых шумов приемного устройства и антенно-фидерного тракта. По результатам радиолокационного наблюдения в каждой РЛС формируются истинные и ложные отметки целей. При росте числа РЛС, объединяемых в сеть, повышается число ложных отметок, перегружающих систему обработки информации в сети РЛС. Поэтому при разработке современных наземных РЛС особое внимание уделяется помехоустойчивости к широкому классу преднамеренных и непреднамеренных помех. Однако в каждой отдельной РЛС защита от ретранслированных помех затрудняется сходством помехи с зондирующим сигналом [5–7]. В работах [4, 8]

было показано, что селекция целей на фоне ложных отметок осуществляется в основном по траекторным признакам. Известен метод первичного захвата физическими или математическими строгами с последующим сопровождением целей [9–12]. Кроме того, в РЛС обзора пространства реализуется метод идентификации измерений с существующими траекториями при сопровождении типовых целей [13–15]. Однако указанные методы селекции целей требуют длительного сопровождения как целей, так и ложных отметок.

На коротких интервалах радиолокационного наблюдения именно в сетях РЛС за счет многокурсного наблюдения за одной и той же областью пространства появляется возможность моментальной селекции целей на фоне ложных отметок. Для этого могут использоваться методы селекции целей, основанные на отождествлении отметок разных РЛС и параметрической идентификации целей [2, 4, 8, 16–18]. При этом взаимное сравнение результативности применения указанных методов селекции целей в условиях ретранслированных помех не проводилось.

Целью статьи является сравнение достоверности селекции целей на фоне ретранслированных помех в сети территориально разнесенных РЛС обзора пространства при реализации следующих трех методов совместной обработки радиолокационной информации, различающихся порядком отнесения отметок к реально существующему радиолокационному объекту: корреляционного эллипсоида, строга селекции целей, пространственного разноса измеренных положений цели.

Постановка задачи селекции целей на фоне ложных отметок в сети территориально разнесенных РЛС

Рассмотрим ситуацию, когда несколько РЛС из состава сети территориально разнесенных РЛС осуществляют контроль заданной области пространства. При этом в общую систему обработки результатов радиолокационных измерений поступают отметки от радиолокационных объектов и ложные отметки, обусловленные помехами. При этом будем полагать, что ложные отметки равномерно распределены по наблюдаемой области пространства.

Независимое функционирование РЛС в составе сети приводит к тому, что единичные измерения параметров обнаруженных радиолокационных сигналов будут выполнены в отличающиеся моменты времени и в различных условиях радиоэлектронной обстановки. Соответственно, радиолокационная информация о заданной области пространства формируется разными РЛС в разные моменты времени и с разной в общем случае

периодичностью [2, 8, 19–22]. Кроме того, изменения сопровождаются случайными и систематическими ошибками, а также погрешностями пересчета к единой системе координат и единому времени.

Порядок селекции целей на фоне ложных отметок в сети территориально разнесенных РЛС на основе сопоставления результатов измерений разных РЛС можно представить в следующем виде.

Пусть A — все множество отметок, сформированных в сети территориально разнесенных РЛС при наблюдении радиолокационных объектов, а также обусловленных помехами. Тогда в систему обработки радиолокационной информации поступает множество отметок a_i , $a_i \in A$ с некоторым набором признаков, измеренных разными РЛС.

Пусть совокупность всех РЛС в сети образует множество K . Без потери общности можно полагать, что все РЛС сети, наблюдающие за заданной областью пространства, можно разбить на пары $\{k_l, k_j\}$, где $k_l \in K$, $k_j \in K$. Это позволяет рассматривать всю сеть как некоторое конечное множество пар РЛС [8].

Множество признаков, которыми описываются отметки в конкретной РЛС k_j , $k_j \in K$, может включать параметры координатные (координаты и проекции вектора скорости движения цели) и некоординатные (эффективная площадь рассеяния, параметры поляризационной матрицы рассеяния отметки и др.). Рассмотрим только координатные признаки. Пусть в РЛС k_j , $k_j \in K$, объект наблюдения a_i , $a_i \in A$, описывается вектором из M признаков $\mathbf{X}_{ij} = \{x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{Mi}\}$ с компонентами x_{mi} , которые представляют измеренное значение некоторой непрерывной величины, например координаты дальности до цели $m = 1, 2, \dots, M$ [9–11].

Установим для сети разнесенных РЛС начало координат X_0 и базис $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_M$. В выбранном базисе M -мерного пространства отметка радиолокационного объекта a_i представляется точкой с координатами $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{Mi}$. Множеством отметок A отображается все множество наблюдаемых радиолокационных объектов и ложных отметок.

Для каждой пары РЛС можно ввести такую максимальную размерность координатных параметров, которая обеспечивается каждой станцией в паре. Поэтому в дальнейшем без потери общности изложения будем полагать, что разными РЛС в паре формируются сообщения о целях одинаковой размерности M .

Принятие решения об истинности радиолокационного объекта может основываться на том факте, что истинные значения координат отметок, принадлежащих одному и тому же объекту, при отсутствии ошибок измерений должны совпадать. В этом случае по всем $m \in M$ имеет ме-

сто $\Delta x_{mir} = x_{mi} - x_{mr} = 0$, где Δx_{mir} — разница между истинными координатами цели, представленной отметками a_i и a_r , $a_i \in A$, $a_r \in A$, наблюдаемой парой разнесенных РЛС [8, 12, 14].

Основным признаком, отличающим ложные отметки, образованные ретранслированными помехами, от радиолокационных объектов, может служить несовпадение их измеренных координат, полученное при многоракурсном наблюдении. Поэтому при несовпадении ракурсов наблюдения в паре РЛС $\{k_l, k_j\}$ координаты ложных отметок в разных РЛС совпадать не будут, $x_{mi} - x_{mr} \neq 0$ даже при отсутствии погрешностей измерений. Наличие таких погрешностей приводит к тому, что даже отметки от одного радиолокационного объекта, сформированные разными РЛС, после синхронизации и приведения к единой системе координат в общем случае совпадать не будут [8, 12, 14].

Задача селекции целей на фоне ложных отметок в сети разнесенных РЛС может быть сформулирована следующим образом: необходимо путем сравнения координатных параметров отметок, полученных от разных РЛС, принять решение, что это либо отметки от одного объекта и их согласование обусловлено погрешностями измерений, либо это ложные отметки, обусловленные помехами.

Далее будут рассмотрены указанные во введении методы селекции целей, достоверность которых будем сравнивать по вероятности ошибочной селекции ложной отметки.

Статистически оптимальный метод селекции целей на фоне ложных отметок

Для отыскания статистически оптимального метода селекции целей необходимо рассматривать результаты измерений координатных параметров радиолокационных объектов и ложных отметок как случайные величины. Для их описания используются многомерные законы распределения координатных параметров.

Пусть отметки a_i и a_r , $a_i \in A$, $a_r \in A$, наблюдаемые парой РЛС $\{k_j, k_l\}$, $k_j \in K$, $k_l \in K$, описываются M -мерными плотностями вероятности $\omega_{ij}(\mathbf{X})$ и $\omega_{rl}(\mathbf{X})$, где $\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_M\}$. Введем $2M$ -мерную плотность вероятности $\omega_{ir}(\mathbf{X}, \mathbf{X})$, описывающую совместное распределение пары отметок $\{a_i, a_r\}$. В случае статистической независимости результатов радиолокационных измерений разными РЛС в рассматриваемой паре $\omega_{ir}(\mathbf{X}, \mathbf{X}) = \omega_{ij}(\mathbf{X}) \cdot \omega_{rl}(\mathbf{X})$ [8, 12, 14].

Представим координатные признаки \mathbf{X}_{ij} и \mathbf{X}_{rl} , измеряемые парой РЛС $\{k_j, k_l\}$, $k_j \in K$, $k_l \in K$, суммой детерминированной составляющей, определяемой координатами цели \mathbf{X}_c , и некоторой по-

грешности измерений в РЛС δ_j и δ_l соответственно [2, 8, 23, 24]:

$$\mathbf{X}_{ij} = \mathbf{X}_c + \delta_j; \mathbf{X}_{rl} = \mathbf{X}_c + \delta_l. \quad (1)$$

В дальнейшем будем полагать, что систематические ошибки измерений в каждой РЛС значительно меньше случайных ошибок.

Часто предполагается, что в пределах рассматриваемой области пространства плотности распределения координатных параметров отметок $\omega_{ij}(\delta_j)$ и $\omega_{rl}(\delta_l)$ в первом приближении не зависят от \mathbf{X}_c . В этом случае для снижения размерности исследуемых плотностей вероятности целесообразно проводить анализ разности их измеренных координат $\Delta \mathbf{X}_{ir} = \mathbf{X}_{ij} - \mathbf{X}_{rl} = \{\Delta x_{mir}, m = 1, 2, \dots, M\}$. Причем в силу несовпадения ракурсов наблюдения РЛС разброс случайной величины $\Delta \mathbf{X}_{ir}$ для ложных отметок будет превосходить разброс отметок истинного радиолокационного объекта.

При статистической постановке задача селекции целей сводится к различению двух гипотез [25, 26]:

H_1 — совместное распределение пары отметок $\{a_i, a_r\}$ соответствует наблюдению одного радиолокационного объекта;

H_2 — совместное распределение пары отметок $\{a_i, a_r\}$ соответствует наблюдению ложных отметок.

Тогда полный класс оптимальных решающих правил селекции целей можно представить сравнением отношения правдоподобия с порогом в следующем виде:

— гипотеза H_1 принимается при условии $\omega_{ir}(\Delta \mathbf{X}_{ir}/H_1)/\omega_{ir}(\Delta \mathbf{X}_{ir}/H_2) \geq \gamma$;

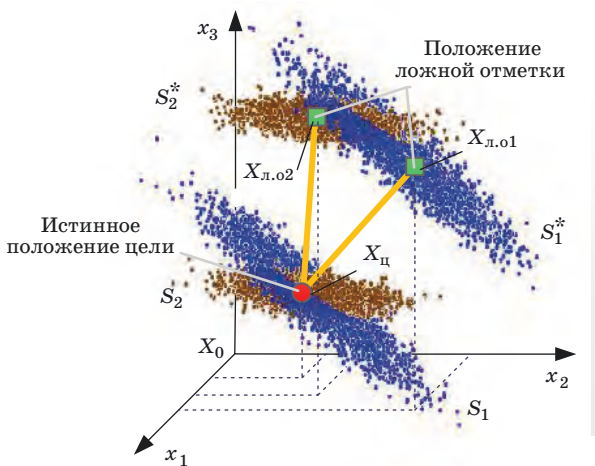
— гипотеза H_2 принимается при условии $\omega_{ir}(\Delta \mathbf{X}_{ir}/H_1)/\omega_{ir}(\Delta \mathbf{X}_{ir}/H_2) < \gamma$,

где $\omega_{ir}(\Delta \mathbf{X}_{ir}/H_1)$, $\omega_{ir}(\Delta \mathbf{X}_{ir}/H_2)$ — условные плотности распределения разности координат пар отметок при реализации гипотез H_1 и H_2 соответственно; γ — порог принятия решения, определяемый выбранным критерием оптимальности.

Метод корреляционного эллипсоида

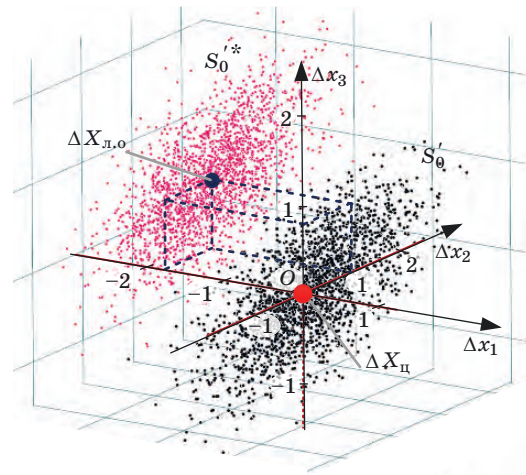
Как правило, погрешности радиолокационных измерений в топоцентрической системе координат РЛС можно полагать независимыми и нормально распределенными, но не равноточными. Примеры входных реализаций, приведенных в общий базис для пары РЛС, показаны на рис. 1, где S_j , S_j^* — множества измеренных координат цели (отметок цели) и имитируемой цели (ложных отметок), обусловленных ретранслированными помехами наблюдаемых РЛС k_j , $j = 1, 2$.

При проведении многократных статистических испытаний по измерению координат цели



■ **Рис. 1.** Множества измеренных координат цели и ложной отметки, обусловленной ретранслированными помехами, в трехмерной системе координат

■ **Fig. 1.** A set of measured coordinates target and false mark caused by relayed interference in three-dimension coordinate system



■ **Рис. 2.** Множество разностей координат для отметок цели и пары ложных отметок

■ **Fig. 2.** A set of coordinate differences for target marks and pair of false marks

$X_{\text{ц}}$ множества отметок цели S_j и ложных отметок S_j^* будут сформированы преимущественно в пределах эллипсоидов рассеяния. Причем форма и пространственная ориентация эллипсоидов рассеяния определяются точностными характеристиками и ракурсом наблюдения цели РЛС k_j [8, 24, 27–29].

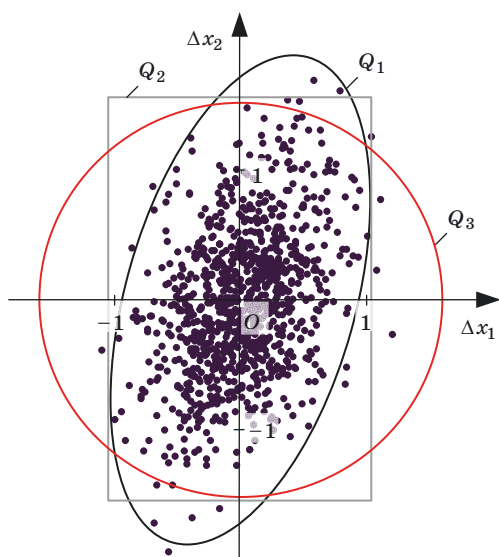
Очевидно, что погрешности измерений, независимые в топоцентрической системе координат РЛС, при развороте базиса получают коррелированными. Отсутствие провала в центре плотности распределения $\omega_{ir}(\Delta X_{ir}/H_2)$ обусловлено тем, что ложные отметки, образованные ретранслированными помехами, могут приближаться друг к другу сколь угодно близко, в отличие от реальных радиолокационных объектов [4, 5, 10, 15, 22].

Плотности распределения разности координат ΔX_{ir} образуются сверткой нормальных законов распределения и также имеют M -мерный нормальный закон распределения. Пример множества разностей координат для отметок цели и пары ложных отметок представлен на рис. 2.

На рисунке введены следующие обозначения: $\Delta X_{\text{ц}}$ — истинное положение цели; $\Delta X_{\text{л.о}}$ — положение ложной отметки, обусловленной ретранслированной помехой; S_0 — множество отметок, характеризующих разность измеренных координат цели территориально разнесенных РЛС; S_0^* — множество отметок, характеризующих разность измеренных координат пары ложных отметок, обусловленных ретранслированной помехой. Данный пример показывает, что дисперсия разности координат ΔX_{ir} , в случае наблюдения фиксированной пары ложных отметок

совпадает с дисперсией разности координат цели. Распределения разностей координат целей и ложных отметок отличаются только математическими ожиданиями. Для цели математическое ожидание разности координат территориально разнесенных РЛС стремится к нулю, а для любой пары ложных отметок будет представлять случайную величину. Это позволяет полагать, что в первом приближении в области допустимых погрешностей разности радиолокационных измерений условная плотность распределения $\omega_{ir}(\Delta X_{ir}/H_2)$ может рассматриваться как постоянная величина. В этом случае оптимальное решающее правило заключается в сравнении условной плотности распределения $\omega_{ir}(\Delta X_{ir}/H_1)$ с величиной порога γ^* . Следовательно, при селекции целей в условиях ретранслированных помех оптимальное решающее правило заключается в нахождении такой подобласти M -мерного пространства, для которой $\omega_{ir}(\Delta X_{ir}/H_1) \geq \gamma^*$ и форма которой определяется только плотностью распределения разности координат для истинной цели. С учетом сделанных выше предположений оптимальное решающее правило можно представить как проверку попадания разности координат ΔX_{ir} в корреляционный эллипсоид [1, 2, 8, 12].

Пример множества разностей координат цели в плоскости $O\Delta x_1\Delta x_2$ приведен на рис. 3. Для двумерного пространства наблюдения РЛС эллипсоид рассеяния вырождается в эллипс. На рисунке показаны примеры разбиения пространства на подобласти, соответствующие разным методам селекции целей, где Q_1 — корреляционный эллипс, Q_2 — прямоугольный строб в выбранном базисе двумерного пространства, Q_3 — область



■ **Рис. 3.** Пример разбиения пространства на под-области принятия решения об истинности наблюдаемой цели

■ **Fig. 3.** An example of dividing space into subdomains of deciding on truth of observed target

допустимых значений пространственного разноса измеренных положений цели.

Главные оси эллипса рассеяния в плоскости $O\Delta x_1\Delta x_2$ прямоугольной системы координат в общем случае не совпадают с осями прямоугольной системы координат. Их размеры и ориентация определяются среднеквадратическими отклонениями (СКО) измерения прямоугольных координат $\sigma_{\Delta x_1}$ и $\sigma_{\Delta x_2}$ и величиной коэффициента взаимной корреляции $r_{\Delta x_1\Delta x_2}$ [1, 2, 8, 12].

Если центр эллипса на плоскости $O\Delta x_1\Delta x_2$ находится в точке $(0; 0)$, то его оси симметрии будут повернуты на угол α , определяемый из выражения

$$\operatorname{tg}(2\alpha) = \frac{2R_{\Delta x_1\Delta x_2}\sigma_{\Delta x_1}\sigma_{\Delta x_2}}{\sigma_{\Delta x_1}^2 - \sigma_{\Delta x_2}^2}, \quad (2)$$

где $R_{\Delta x_1\Delta x_2}$ — корреляционный момент, связанный коэффициентом корреляции Пирсона $r_{\Delta x_1\Delta x_2}$ соотношением $r_{\Delta x_1\Delta x_2} = R_{\Delta x_1\Delta x_2}/(\sigma_{\Delta x_1} \cdot \sigma_{\Delta x_2})$; $\sigma_{\Delta x_1}^2$, $\sigma_{\Delta x_2}^2$ — дисперсии ошибок измерения координат Δx_1 и Δx_2 .

Коэффициент корреляции Пирсона r_{xy} между множествами нормально распределенных измерений координат по осям $O\Delta x_1$ и $O\Delta x_2$ определяется по формуле

$$r_{\Delta x_1\Delta x_2} = \frac{\sum(\Delta x_1 - M[\Delta x_1])(\Delta x_2 - M[\Delta x_2])}{\sqrt{\sum(\Delta x_1 - M[\Delta x_1])^2 \sum(\Delta x_2 - M[\Delta x_2])^2}}, \quad (3)$$

где $M[\Delta x_1]$, $M[\Delta x_2]$ — математические ожидания нормально распределенных измерений коор-

динат по осям $O\Delta x_1$ и $O\Delta x_2$ соответственно; Δx_1 , Δx_2 — значения измеренных координат.

Тогда, учитывая каноническое уравнение эллипса в системе координат $O\Delta x_1\Delta x_2$, условие попадания точки в эллипс рассеяния задается выражением

$$\frac{(\Delta x_1 \cos(\alpha) + \Delta x_2 \sin(\alpha))^2}{a^2} + \frac{(-\Delta x_1 \sin(\alpha) + \Delta x_2 \cos(\alpha))^2}{b^2} \leq 1, \quad (4)$$

где a , b — большая и малая полуоси эллипса рассеяния на $O\Delta x_1\Delta x_2$, которые определяются по следующим формулам:

$$a = \sqrt{\frac{\sigma_{\Delta x_1}^2 + \sigma_{\Delta x_2}^2 + \sqrt{(\sigma_{\Delta x_1}^2 - \sigma_{\Delta x_2}^2)^2 + 4K_{\Delta x_1\Delta x_2}^2 \sigma_{\Delta x_1}^2 \sigma_{\Delta x_2}^2}}{2}};$$

$$b = \sqrt{\frac{\sigma_{\Delta x_1}^2 + \sigma_{\Delta x_2}^2 - \sqrt{(\sigma_{\Delta x_1}^2 - \sigma_{\Delta x_2}^2)^2 + 4K_{\Delta x_1\Delta x_2}^2 \sigma_{\Delta x_1}^2 \sigma_{\Delta x_2}^2}}{2}}. \quad (5)$$

Коэффициент c представляет собой отношение полуосей эллипса к соответствующим СКО, т. е. $c = a/\sigma_{\Delta x_1} = b/\sigma_{\Delta x_2}$, причем вероятность попадания в корреляционный эллипс p заданного размера c случайного измерения определяется из выражения

$$p = 1 - \exp(-c^2/2), \quad (6)$$

откуда размер эллипса c , требуемый для обеспечения заданной вероятности попадания, задается по формуле

$$c = \sqrt{-2\ln(1-p)}. \quad (7)$$

Сравнение разбиения плоскости на подобласти принятия решения об истинности наблюдаемой цели для трех рассматриваемых методов селекции целей на фоне ложных отметок представлено на рис. 4. При этом размеры эллипса, прямоугольника и круга выбраны таким образом, чтобы вероятности пропуска истинной цели были для всех трех фигур одинаковыми. В этом случае вероятности ошибочного принятия ложной отметки за цель $P_{\text{ош.л.о}}$ определяются соотношением площадей соответствующих фигур, которые для рассмотренного примера соотносятся как 1:1,35:1,38 соответственно. Тогда методы Q_2 и Q_3 по показателю $P_{\text{ош.л.о}}$ несколько уступают методу Q_1 , и можно констатировать, что метод пространственного разноса измеренных положений цели Q_3 при равноточных некоррелированных измере-

ниях может давать значения, близкие к потенциально достижимым, поскольку корреляционный эллипсоид вырождается в сферу. В большинстве же случаев неравенства погрешностей измерений по дальности и угловым координатам (особенно при наблюдении целей на предельной дальности) метод стробов может обеспечивать меньшее число ошибок селекции целей при удачном выборе базиса, если границы строба селекции цели параллельны полуосям эллипсоида рассеяния величины ΔX_{ir} .

Методы строба селекции целей и пространственного разнеса измеренных положений цели

При селекции целей методом строба учитывается тот факт, что отметки одной и той же цели должны иметь одинаковые значения всех компонентов. Решение о селекции целей принимается путем сравнения всех компонентов отметок независимо. Если при этом совпадают все соответствующие компоненты, то принимается решение об истинности цели, наблюдаемой разнесенными РЛС [1–3, 8–10].

На основе ошибок измерений, пересчитанных в базис с координатами X_{ir} в M -мерном пространстве, задаются размеры допустимых ошибок по каждой координате $\Delta x_{m \text{ доп}}$.

В работе [8] показано, что для селекции целей на фоне ложных отметок целесообразно использовать величину пространственного разнеса отметок от разных РЛС $\Delta r_{\text{р.и.п.ц}}$. Под величиной $\Delta r_{\text{р.и.п.ц}}$ понимается декартово расстояние между измеренными в единой системе координат отметками цели от разнесенных РЛС:

$$\Delta r_{\text{р.и.п.ц}} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (x_{i1} - x_{i2})^2}. \tag{8}$$

Поскольку ошибки измерения сферических координат целей в каждой РЛС распределены по многомерному нормальному закону, то плотность вероятности $\Delta r_{\text{р.и.п.ц}}$ описывается законом распределения Рэлея [4, 8]. Дисперсия распределения случайной величины $\Delta r_{\text{р.и.п.ц}}$ может быть оценена выражением [8]

$$\sigma_{\Delta r}^2 = \sigma_{R1}^2 + \sigma_{R2}^2 + R_1[\text{tg}^2(\sigma_{\alpha1}) + \text{tg}^2(\sigma_{\beta1})] + R_2[\text{tg}^2(\sigma_{\alpha2}) + \text{tg}^2(\sigma_{\beta2})], \tag{9}$$

где индексы 1 и 2 характеризуют СКО измерения дальности и угловых координат первой и второй РЛС соответственно; R_1 и R_2 — измеренные расстояния от РЛС_{1,2} до цели.

Правилом принятия решения об истинности цели, одновременно наблюдаемой территориально разнесенными РЛС в условиях ретранслированных помех, является непревышение текущей величины $\Delta r_{\text{р.и.п.ц } ir}$ для пары отметок разнесенных РЛС с пороговым значением $\mu_{\text{доп } ir}$. Причем значение $\mu_{\text{доп } ir}$ определяется через вероятность правильной селекции целей $P_{\text{сел}}$ для закона распределения Рэлея с соответствующей $\sigma_{\Delta r \text{ } ir}$ [8].

Результаты имитационного моделирования селекции целей на фоне ложных отметок, обусловленных ретранслированными помехами

Для оценивания достоверности различных методов селекции целей проведено имитационное моделирование процессов селекции целей на фоне ложных отметок, обусловленных ретранслированными помехами, при реализации в сети разнесенных РЛС метода корреляционного эллипсоида, метода строба селекции целей и метода пространственного разнеса измеренных положений цели. При моделировании принят ряд допущений:

— одна физически существующая цель находится в области контроля двух разнесенных РЛС, каждая из которых измеряет дальность и угловые координаты целей, пересчитываемые в базис x, y, z ;

— случайные ошибки единичных измерений сферических координат целей ($\delta_R, \delta_\alpha, \delta_\beta$) в каждой РЛС имеют нормальный закон распределения с нулевым математическим ожиданием и СКО измерений сферических координат ($\sigma_R, \sigma_\alpha, \sigma_\beta$), функционально задаваемыми через положение цели относительно антенной системы РЛС и величины отношения сигнал/(шум+помеха) $q_{\text{с/ш+п}}$ в точке приема отраженного сигнала;

— расстояние до цели характеризуется нормированной дальностью $R_{\text{ц}}$, которая отсчитывается от середины базы разнеса двух разнесенных РЛС и задается в относительных величинах по формуле

$$R_{\text{ц}} = R_{\text{тек}}/R_{\text{max}}^*, \tag{10}$$

где $R_{\text{тек}}$ — текущее расстояние до физически существующей цели; R_{max}^* — расстояние от середины базы разнеса двух территориально разнесенных РЛС до крайней точки зоны ответственности двух РЛС;

— относительное среднее удаление пары ложных отметок $\Delta r_{\text{л.о}}$, обусловленных ретранслированными помехами, задается по формуле

$$\Delta r_{\text{л.о}} = \Delta r_{\text{л.о ср}}/\Delta r_{\text{РЛС min}}, \tag{11}$$

где $\Delta r_{\text{л.о ср}}$ — среднее на интервале радиолокационного наблюдения расстояние между ложными отметками, формируемыми в РЛС₁ и РЛС₂ из-за ретранслированных помех, определяется плотностью ложных отметок в контролируемой области пространства; $\Delta r_{\text{РЛС min}}$ — наименьшее значение разрешающей способности по дальности двух территориально разнесенных РЛС, объединенных в единую информационную сеть; в процессе каждого цикла статистических испытаний положение цели в контролируемой области пространства фиксировано, а погрешности измерений и положение ложной отметки задаются случайно. При этом погрешности измерений формировались по нормальному закону распределения, а положение ложных отметок — по равновероятному с фиксированным средним расстоянием между ними.

При известных положениях каждой независимо функционирующей РЛС ($x_{\text{РЛС}}, y_{\text{РЛС}}, z_{\text{РЛС}}$) в геоцентрической системе координат (ГСК) и положении физически существующей цели (x_0, y_0, z_0), наблюдаемой в условиях ретранслированных помех, измеренные сферические координаты ($R_{\text{ц}}, \alpha_{\text{ц}}, \beta_{\text{ц}}$) функционально задаются через топоцентрические прямоугольные координаты (x_k, y_k, z_k), где k — номер отметки цели и ложных отметок в РЛС, причем $k = 0, \dots, N_{\text{л.о}} + 1$, где $N_{\text{л.о}}$ — количество ложных отметок, обусловленных ретранслированными помехами (т. е. количество физически не существующих целей, которые независимо функционирующие РЛС наблюдают в условиях ретранслированных помех). Причем топоцентрические прямоугольные координаты (x_k, y_k, z_k) в очередном цикле обзора формируются как результат измерения местоположения цели с учетом внутренних тепловых шумов и внешних шумовых помех на выходе системы обработки радиолокационной информации РЛС $q_{\text{с/ш+п}}$ [19–22]. Величина $q_{\text{с/ш+п}}$ задается отношением мощности принятого радиолокационного сигнала $P_{\text{с}}$, отраженного от цели, к суммарной мощности внутренних тепловых шумов приемного устройства РЛС и внешних шумовых помех ($P_{\text{ш}} + P_{\text{п}}$), отражающих помеховую обстановку в районе расположения наземной РЛС [8–11].

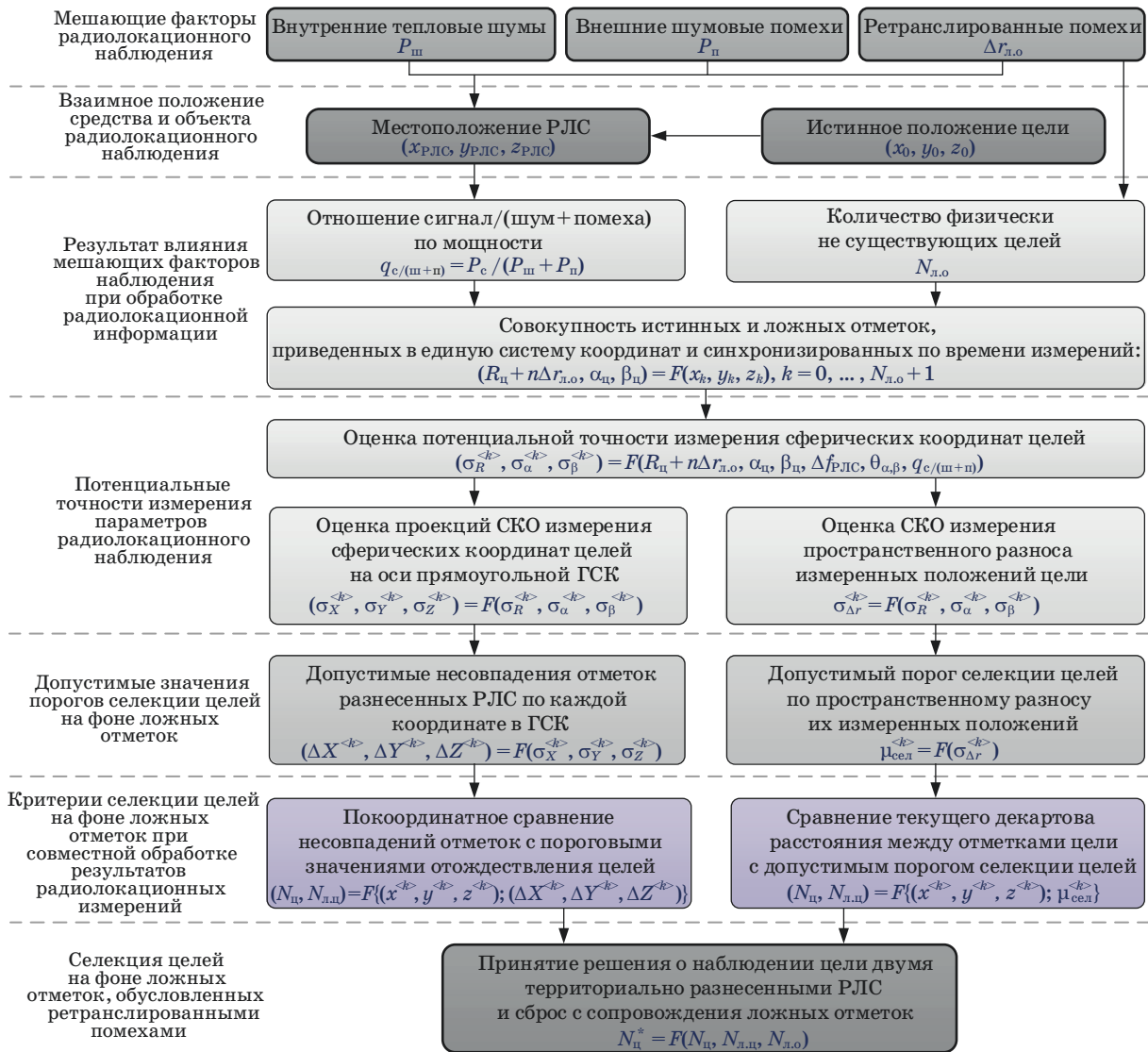
При известном отношении сигнал/шум $q_{\text{с/ш+п}}$ на выходе системы обработки радиолокационной информации в сети разнесенных РЛС могут быть выполнены оценки характеристик эллипсоидов рассеяния для ограниченных областей пространства. Связано это с тем, что отметка цели будет сформирована с учетом разрешающей способности РЛС по дальности $\delta r_{\text{РЛС}}$ и по угловым координатам ($\delta \alpha_{\text{РЛС}}, \delta \beta_{\text{РЛС}}$), а также с потенциальной точностью выполняемых радиолокационных измерений ($\sigma_R, \sigma_\alpha, \sigma_\beta$), где σ_R — СКО измерений в канале дальности; $\sigma_\alpha, \sigma_\beta$ — СКО измерений

в угловых каналах по азимуту и углу места соответственно. Разрешающая способность РЛС по дальности $\delta r_{\text{РЛС}}$ прямо пропорциональна ширине спектра зондирующего сигнала $\Delta f_{\text{РЛС}}$ [10, 13, 20]. Разрешающая способность РЛС по угловым координатам ($\delta \alpha_{\text{РЛС}}, \delta \beta_{\text{РЛС}}$) обратно пропорциональна ширине приемной диаграммы направленности по уровню половинной мощности в азимутальной θ_α и угломестной θ_β плоскостях [10, 13, 20]. Кроме того, потенциальная точность измерения сферических координат ($\sigma_R, \sigma_\alpha, \sigma_\beta$) определяется величиной $q_{\text{с/ш+п}}$.

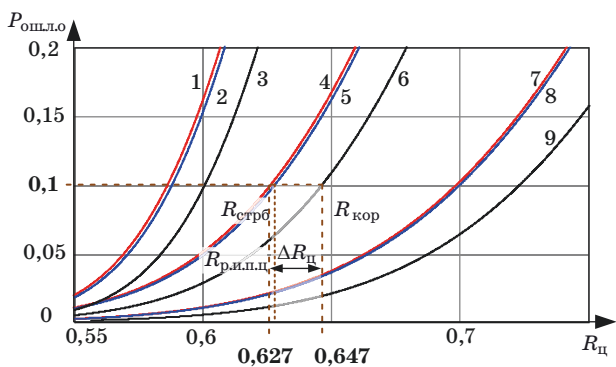
В обобщенном виде схема имитационного моделирования селекции целей на фоне ложных отметок, обусловленных ретранслированными помехами, в сети двух разнесенных РЛС обзора пространства представлена на рис. 4.

В результате проведения многократных статистических испытаний получены зависимости изменения вероятности сброса с сопровождения ложных траекторий цели, обусловленных ретранслированными помехами, в сети разнесенных РЛС для различных условий радиолокационного наблюдения. На рис. 5 приведены графики зависимостей изменения вероятности сброса с сопровождения ложных траекторий целей от расстояния до цели $R_{\text{ц}}$ при различных величинах относительного среднего удаления пары ложных отметок $\Delta r_{\text{л.о}}$ и пролете цели по маршруту, проекция которого на поверхности земли проходит перпендикулярно базе разнеса между двумя территориально разнесенными РЛС. При моделировании величина $\Delta r_{\text{л.о1}}$ задавалась равной трем (кривые 1, 2, 3), $\Delta r_{\text{л.о2}} = 3,5$ (кривые 4, 5, 6), $\Delta r_{\text{л.о3}} = 5$ (кривые 7, 8, 9). Кривые получены при реализации метода строга селекции целей $R_{\text{стрб}}$ (кривые 1, 4, 7), метода пространственного разнеса измеренных положений цели $R_{\text{р.и.п.ц}}$ (кривые 2, 5, 8) и метода корреляционного эллипсоида $R_{\text{кор}}$ (кривые 3, 6, 9).

Представленные на рис. 5 графики зависимостей позволяют сделать вывод, что сброс до 90 % ложных траекторий целей, формируемых из-за ретранслированных помех при разных значениях относительного удаления ложной отметки $\Delta r_{\text{л.о}}$, осуществляется для нормированной дальности $R_{\text{стрб}} = 0,587 \div 0,698$, $R_{\text{р.и.п.ц}} = 0,589 \div 0,700$ и $R_{\text{кор}} = 0,603 \div 0,722$. Результаты имитационного моделирования наблюдения целей территориально разнесенными РЛС при изменении относительного угла пролета от -15 до 15 градусов в диапазоне заданных значений $\Delta r_{\text{л.о}} = 3 \div 5$ показали, что изменение нормированной дальности для метода строга селекции целей и метода пространственного разнеса измеренных положений цели осуществляется в интервалах $R_{\text{стрб (р.и.п.ц)}} = 0,560 \dots 0,705$, а для метода корреляционного эллипсоида $R_{\text{кор}} = 0,590 \dots 0,730$.



■ **Рис. 4.** Схема моделирования селекции целей в условиях ретранслированных помех
 ■ **Fig. 4.** Simulation scheme of target selection in conditions relayed interference



■ **Рис. 5.** Зависимости изменения вероятности ошибочной селекции ложной отметки
 ■ **Fig. 5.** Dependence of change in probability of erroneous selection of false mark

Анализ результатов моделирования показывает, что на вероятность селекции целей существенное влияние оказывает плотность ложных отметок. Так, увеличение относительного удаления ложной отметки в $\Delta r_{л.о}$ в 1,2 и 1,7 раза при реализации указанных методов селекции целей увеличивает нормированную дальность сброса до 90 % ложных траекторий целей, обусловленных ретранслированными помехами, на 7 и 19 % для указанных методов селекции целей.

Выигрыш в увеличении нормированной дальности $\Delta R_{ц}$ при применении метода корреляционного эллипсоида по сравнению с методами строба и пространственного разнеса измеренных положений цели при фиксированных условиях наблюдения составляет от 36 до 46 %.

Заключение

Совместная обработка радиолокационной информации в сети разнесенных РЛС может быть использована для повышения помехоустойчивости в условиях ретранслированных помех. Сравнение методов селекции целей на фоне ложных отметок демонстрирует, что наибольшая достоверность обеспечивается при реализации метода корреляционных эллипсоидов. Методы стробов селекции целей и пространственного разнеса измеренных положений цели дают близкие результаты с точки зрения обеспечения вероятности ошибочной селекции ложных отметок.

Учет пространственного согласования результатов радиолокационных измерений, выполняемых разнесенными РЛС, позволяет выявлять ложные траектории целей, обусловленные наличием ретранслированных помех. На основе имитационного моделирования показано, что в двухпозиционном радиолокационном комплексе реализация метода корреляционного эллипсоида по сравнению с методом строба селекции целей по-

разному сказывается на качестве его функционирования в условиях ретранслированных помех. Основной причиной отличия в результативности сброса ложных траекторий целей является порядок формирования для двух разнесенных РЛС единого строба сопровождения целей. Выигрыш в увеличении нормированной дальности при применении метода корреляционного эллипсоида по сравнению с методами строба и пространственного разнеса измеренных положений цели составил от 36 до 46 %.

Небольшие различия в реальных дальностях селекции целей, реализованные тремя рассмотренными методами, показывают, что в большинстве практических ситуаций можно использовать наиболее просто реализуемый из них метод пространственного разнеса измеренных положений цели. При решении особо важных задач радиолокационного наблюдения целесообразно применять метод корреляционного эллипсоида, который обеспечивает максимальную достоверность селекции целей на фоне ложных отметок.

Литература

1. Татарский Б. Г., Ильчук П. А., Ильчук А. Р. Идентификация параметров сигналов, отраженных от множества целей, в распределенной радиолокационной системе методом сравнения. *Информационно-измерительные и управляющие системы*, 2018, т. 16, № 1, с. 33–41.
2. Хомяков А. В., Филиппенков В. И., Мамон Ю. И. Алгоритмы совместной траекторной обработки в многопозиционном радиолокационном комплексе. *Изв. Тульского государственного университета. Технические науки*, 2016, № 2, с. 305–314.
3. Shi Y., Park S., Song T. Multitarget tracking in cluttered environment for a multistatic passive radar system under the DAB/DVB network. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2017, no. 11. doi:10.1186/s13634-017-0445-4
4. Паршуткин А. В., Левин Д. В., Галандзовский А. В. Имитационная модель обработки радиолокационной информации в сети радиолокационных станций в условиях сигналоподобных помех. *Информационно-управляющие системы*, 2019, № 6, с. 22–31. doi:10.31799/1684-8853-2019-6-22-31
5. Агиевич С. Н., Луценко С. А. Применение ретранслированных помех в целях воздействия на спутниковые системы радиосвязи с фазоманипулированными широкополосными сигналами. *Изв. Тульского государственного университета. Технические науки*, 2018, № 12, с. 411–416.
6. Chen X., Chen B. Anti-jamming approach based on radar transmitted waveform matching. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2021, no. 59. doi:10.1186/s13634-021-00776-w
7. Куликов Г. В., Лелюх А. А., Граченко Е. Н. Помехоустойчивость когерентного приемника сигналов с квадратурной амплитудной модуляцией при наличии ретранслированной помехи. *Радиотехника и электроника*, 2020, т. 65, № 8, с. 804–808. doi:10.31857/S0033849420070074
8. Левин Д. В. Моделирование селекции целей территориально-разнесенными радиолокационными станциями при совместной обработке их радиолокационных измерений в условиях ретранслированных помех. *Вопросы радиоэлектроники*, 2020, № 11, с. 6–13. doi:10.21778/2218-5453-2020-11-6-13
9. Shi C., Zhou J., Wang F. Adaptive resource management algorithm for target tracking in radar network based on low probability of intercept. *Multidimensional Systems and Signal Processing*, 2018, no. 29, pp. 1203–1226. doi:10.1007/s11045-017-0494-8
10. Zhu Y., Zhao L., Zhang Y. Receiver selection for multi-target tracking in multi-static Doppler radar systems. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2021, no. 118. doi: 10.1186/s13634-021-00826-3
11. Смирнов Е. Е., Поздняков А. А. Методика сопровождения близко расположенных объектов с различными характеристиками движения радиолокационной станцией дальнего обнаружения. *Электромагнитные волны и электронные системы*, 2021, т. 26, № 4, с. 42–53. doi:10.18127/j15604128-202104-05
12. Васильев К. К., Маттис А. В., Саверкин О. В. Стробирование радиолокационных отметок при траек-

- торной фильтрации в связанных координатах. *Изв. высших учебных заведений России. Радиоэлектроника*, 2019, т. 22, № 5, с. 71–79. doi:10.32603/1993-8985-2019-22-5-71-79
13. Алёшкин А. П., Владимиров В. В., Невзоров В. И., Савочкин П. В. Метод повышения разрешающей способности и точности радиолокационных угловых измерений на основе последовательной пространственно-временной обработки принимаемых сигналов. *Информационно-управляющие системы*, 2020, № 2, с. 37–45. doi:10.31799/1684-8853-2020-2-37-45
 14. Смирнов Е. Е., Поздняков А. А., Паршин М. С. Модель классификации объектов наблюдения в условиях пересечения их траекторий движения на основе совместного анализа траекторной и поляризационной информации. *Информационно-измерительные и управляющие системы*, 2021, т. 19, № 4, с. 14–26. doi:10.18127/j20700814-202104-02
 15. Zarai K., Cherif A. Adaptive filter based on Monte Carlo method to improve the non-linear target tracking in the radar system. *Aerospace Systems*, 2021, no. 4 (7), pp. 67–74. doi:10.1007/s42401-020-00080-9
 16. Пальгуев Д. А., Шентябин А. Н. К вопросу оценки вероятности объединения радиолокационной информации при третичной обработке в сетевых структурах. *Радиопромышленность*, 2020, т. 30, № 2, с. 32–41. doi:10.21778/2413-9599-2020-30-2-32-41
 17. Кирюшкин В. В., Коровин А. В., Журавлев А. В. Межпозиционное отождествление результатов измерений и определение координат воздушных целей в многопозиционной радиолокационной системе в условиях многоцелевой обстановки. *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии*, 2019, т. 12, № 6, с. 708–718. doi:10.17516/1999-494X-0170
 18. Журавлев А. В., Кирюшкин В. В., Коровин А. В. Алгоритм межпозиционного отождествления результатов измерений в суммарно-дальномерной многопозиционной радиолокационной системе в условиях многоцелевой обстановки. *Радиотехника*, 2019, т. 83, № 6 (8), с. 180–189. doi:10.18127/j00338486-201906(8)-16
 19. Бучинский Д. И., Вознюк В. В., Фомин А. В. Исследование помехоустойчивости приемника сигналов с многопозиционной фазовой манипуляцией к воздействию помех с различной структурой. *Тр. Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского*, 2019, № 671, с. 120–127.
 20. Алёшкин А. П., Балашов В. М., Владимиров В. В. Синтезирование искусственной апертуры в цифровой антенной решетке путем экстраполяции функции раскрыва на основе последовательной обработки отраженных радиолокационных сигналов. *Вопросы радиоэлектроники*, 2021, № 4, с. 16–22. doi:10.21778/2218-5453-2021-4-16-22
 21. Бучинский Д. И., Вознюк В. В. Помехоустойчивость когерентного демодулятора двоичных фазоманипулированных сигналов с расширенным спектром при воздействии гауссовской помехи с ограниченным по полосе равномерным спектром. *Тр. Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского*, 2020, № 675, с. 69–76.
 22. Петешов А. В., Полубехин А. И., Румянцев В. Л. Структура систем корреляционной пространственно-временной обработки сигналов многоканальных радиолокационных систем. *Изв. Тульского государственного университета. Технические науки*, 2020, № 9, с. 215–225.
 23. Сиразиев Л. Р., Черемисин О. П. Адаптивный алгоритм обработки сигнала с неизвестными законами временной модуляции в многопозиционных радиолокационных системах. *Электромагнитные волны и электронные системы*, 2018, т. 23, № 6, с. 4–13. doi:10.18127/j15604128-201806-01
 24. Shepeta A. P., Nenashev V. A. Accuracy characteristics of object location in a two-position system of small onboard radars. *Информационно-управляющие системы*, 2020, № 2, с. 31–36. doi:10.31799/1684-8853-2020-2-31-36
 25. Исаев И. Д., Савельев А. Н., Семенов А. Н. Анализ калибровочных характеристик для кадров радиолокационной информации наземной многопозиционной радиолокационной системы. *Информационно-измерительные и управляющие системы*, 2020, т. 18, № 6, с. 51–64. doi:10.18127/j20700814-202006-06
 26. Нахмансон Г. С., Акиншин Д. С. Обнаружение траекторий движущихся прямолинейно воздушных целей при вторичной обработке радиолокационной информации. *Изв. высших учебных заведений России. Радиоэлектроника*, 2019, т. 22, № 5, с. 61–70. doi:10.32603/1993-8985-2019-22-5-61-70
 27. Дроздов Д. О., Татарский Б. Г. Алгоритм отождествления первичных измерений с траекториями сопровождаемых целей. *Информационно-измерительные и управляющие системы*, 2018, т. 16, № 7, с. 12–19. doi:10.18127/j20700814-201807-02
 28. Зябиров Э. В., Аравин А. В., Михайлов С. В., Филлошкин И. П. Выбор вида и параметров стробов при отождествлении координатной информации от средств обнаружения воздушных целей в комплексе средств автоматизации батареинного командного пункта. *Изв. высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки*, 2018, № 4 (48), с. 88–95. doi:10.21685/2072-3059-2018-4-8
 29. Борисов Е. Г. Совместная обработка измерений в дальномерно-доплеровской многопозиционной радиолокационной системе. *Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации*, 2020, т. 23, № 2, с. 8–19. doi:10.26467/2079-0619-2020-23-2-8-19

UDC 621.396.965

doi:10.31799/1684-8853-2022-3-55-66

Reliability of target selection in the network of geographically separated radar stations in joint processing of radar information in the conditions of relayed interferenceD. V. Levin^a, PhD, Tech., Lecturer, orcid.org/ 0000-0002-3480-087X, dm.181@yandex.ruA. V. Parshutkin^a, Dr. Sc., Tech., Professor, orcid.org/ 0000-0001-7535-4880A. V. Timoshenko^b, Dr. Sc., Tech., Professor, orcid.org/ 0000-0002-9791-142X^aA. F. Mozhaiskiy Military Space Academy, 13, Zhdanovskaia Emb., 197198, Saint-Petersburg, Russian Federation^bNational Research University of Electronic Technology, Shokin Sq., 1, 124498, Moscow, Zelenograd, Russian Federation

Introduction: Radar information processing methods are used to identify targets at short observation intervals, based on the identification of marks of different radar stations and the parametric identification of a target. However, a mutual comparison of the effectiveness of using such methods of target selection in the conditions of relayed interference has not been carried out. **Purpose:** The comparison of the reliability of target selection in the conditions of relayed interference in a network of geographically separated radar stations for space surveillance with the implementation of correlation ellipsoid method, strobe method of target selection and spatial separation of measured target positions method. **Results:** We give the decision rules for dividing the space of coordinate difference of a target into subdomains to make a decision about the truth of the target. We have carried out simulation modeling of the target selection in the conditions of relayed interference and have obtained the dependencies for the change in the probability of erroneous selection of false marks on the normalized range which is measured from the middle of the spacing base of the two geographically separated radar stations. There are also quantitative estimates of the reliability of target selection for various conditions of radar surveillance by two geographically separated radar stations. The gain in increasing the normalized range with the use of the correlation ellipsoid method as compared to strobe methods of target selection and spatial separation of measured target positions method ranged from 36% to 46%. It is shown that in most practical situations one can use the simplest method, that is the spatial separation of measured target positions method, and when solving most important problems the correlation ellipsoid method can be used. **Practical relevance:** Research results can be used in the development of target selection algorithms in the conditions of relayed interference.

Keywords — target selection, radar information, relayed interference, false marks, correlation ellipsoid.

For citation: Levin D. V., Parshutkin A. V., Timoshenko A. V. Reliability of target selection in the network of geographically separated radar stations in joint processing of radar information in the conditions of relayed interference. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2022, no. 3, pp. 55–66 (In Russian). doi:10.31799/1684-8853-2022-3-55-66

Reference

- Tatarsky B. G., Ilchuk P. A., Ilchuk A. R. The identification of signals reflected from multiple targets in a distributed radar system, the method of comparison. *Information-measuring and Control Systems*, 2018, vol. 16, no. 1, pp. 33–41 (In Russian).
- Khomyakov A. V., Filipchenkov V. I., Mamon Yu. I. Algorithms joint trajectory processing in multiposition radar complex. *Proc. of the TSU*, 2016, no. 2, pp. 305–314 (In Russian).
- Shi Y., Park S., Song T. Multitarget tracking in cluttered environment for a multistatic passive radar system under the DAB/DVB network. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2017, no. 11. doi:10.1186/s13634-017-0445-4
- Parshutkin A. V., Levin D. V., Galandzovskiy A. V. Simulation model of radar data processing in a station network under signal-like interference. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2019, no. 6, pp. 22–31 (In Russian). doi:10.31799/1684-8853-2019-6-22-31
- Agievich S. N., Lutsenco S. A. Application of repeater jamming for effects on satellite radiocommunication systems with direct sequence spread spectrum. *Proc. of the TSU*, 2018, no. 12, pp. 411–416 (In Russian).
- Chen X., Chen B. Anti-jamming approach based on radar transmitted waveform matching. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2021, no. 59. doi:10.1186/s13634-021-00776-w
- Kulikov G. V., Lelyukh A. A., Grachenko E. N. Noise immunity of a coherent signal receiver with quadrature amplitude modulation in the presence of relayed interference. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 2020, vol. 65, no. 8, pp. 804–808 (In Russian). doi:10.31857/S0033849420070074
- Levin D. V. Simulation of target selection by geographically separated radar stations when processing of their radar measurements together in conditions relayed interference. *Questions of Radio Electronics*, 2020, no. 11, pp. 6–13 (In Russian). doi:10.21778/2218-5453-2020-11-6-13
- Shi C., Zhou J., Wang F. Adaptive resource management algorithm for target tracking in radar network based on low probability of intercept. *Multidimensional Systems and Signal Processing*, 2018, no. 29, pp. 1203–1226. doi:10.1007/s11045-017-0494-8
- Zhu Y., Zhao L., Zhang Y. Receiver selection for multi-target tracking in multi-static Doppler radar systems. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2021, no. 118. doi:10.1186/s13634-021-00826-3
- Smirnov E. E., Pozdniakov A. A. Method of tracking of close objects with different moving characteristics by a long-range radar station. *Electromagnetic Waves and Electronic Systems*, 2021, vol. 26, no. 4, pp. 42–53 (In Russian). doi:10.18127/j15604128-202104-05
- Vasiliev K. K., Mattis A. V., Saverkin O. V. Strobing of radar marks for trajectory filtration in a body-fixed frame. *Journal of the Russian Universities. Radioelectronics*, 2019, vol. 22, no. 5, pp. 71–79 (In Russian). doi:10.32603/1993-8985-2019-22-5-71-79
- Aleshkin A. P., Vladimirov V. V., Nevzorov V. I., Savochkin P. V. Method for increasing the resolution and accuracy of radar angular measurements based on sequential spatio-temporal processing of received signals. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2020, no. 2, pp. 37–45 (In Russian). doi:10.31799/1684-8853-2020-2-37-45
- Smirnov E. E., Pozdniakov A. A., Parshin M. S. Model of classification of observation objects under conditions of intersection of their motion paths based on joint analysis of trajectory and polarization information. *Information-measuring and Control Systems*, 2021, vol. 19, no. 4, pp. 14–26 (In Russian). doi:10.18127/j20700814-202104-02
- Zarai K., Cherif A. Adaptive filter based on Monte Carlo method to improve the non-linear target tracking in the radar system. *Aerospace Systems*, 2021, no. 4 (7), pp. 67–74. doi:10.1007/s42401-020-00080-9
- Palguyev D. A., Shentyabin A. N. More on assessing the probability of radar information association during tertiary information processing in network structures. *Radio Industry (Russia)*, 2020, vol. 30, no. 2, pp. 32–41 (In Russian). doi:10.21778/2413-9599-2020-30-2-32-41
- Kiryushkin V. V., Korovin A. V., Zhuravlev A. V. Sensor-to-sensor data association and preliminary estimation of coordinates of air target in multisensory radar in multi-target conditions. *Journal of Siberian Federal University*.

- Engineering and Technologies*, 2019, vol. 12, no. 6, pp. 709–718 (In Russian). doi:10.17516/1999-494X-0170
18. Zhuravlev A. V., Kiryushkin V. V., Korovin A. V. Sensor-to-sensor data association in total-range-measurements multisensory radar in multitarget conditions. *Radioengineering*, 2019, vol. 83, no. 6 (8), pp. 180–189 (In Russian). doi:10.18127/j00338486-201906(8)-16
 19. Buchinskiy D. I., Voznyuk V. V., Fomin A. V. Research of noise stability of the receiver with M-PSK modulation under the influence of interference with different structure. *Proc. of the Mozhaisky Military Space Academy*, 2019, no. 671, pp. 120–127 (In Russian).
 20. Aleshkin A. P., Balashov V. M., Vladimirov V. V. Signals synthesis of artificial aperture in a digital antenna array by extrapolation of the opening function based on sequential processing of reflected radar signals. *Questions of Radio Electronics*, 2021, no. 4, pp. 16–22 (In Russian). doi:10.21778/2218-5453-2021-4-16-22
 21. Buchinskiy D. I., Voznyuk V. V. Immunity of a coherent demodulator of binary phasomanipulated signals with a spread spectrum under exposure to gaussian interference with a band-bounded uniform spectrum. *Proc. of the Mozhaisky Military Space Academy*, 2020, no. 675, pp. 69–76 (In Russian).
 22. Peteshov A. V., Polubahin A. I., Rummyantsev V. L. The structure of correlation systems spatio-temporal processing of multichannel radar signals. *Proc. of the TSU*, 2020, no. 9, pp. 215–225 (In Russian).
 23. Siraziev L. R., Cheremisin O. P. Adaptive algorithm of processing of signals with unknown modulation law in multistatic radar systems. *Electromagnetic Waves and Electronic Systems*, 2018, vol. 23, no. 6, pp. 4–13 (In Russian). doi:10.18127/j15604128-201806-01
 24. Shepeta A. P., Nenashev V. A. Accuracy characteristics of object location in a two-position system of small onboard radars. *Informatsionno-upravlyaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2020, no. 2, pp. 31–36. doi:10.31799/1684-8853-2020-2-31-36
 25. Isaev I. D., Savelyev A. N., Semenov A. N. Analysis of calibration methods to raw radar frames received from multi-radar surface movement radars. *Information-measuring and Control Systems*, 2020, vol. 18, no. 6, pp. 51–64 (In Russian). doi:10.18127/j20700814-202006-06
 26. Nakhmanson G. S., Akinshin D. S. Detection of the trajectories of moving rectilinearly air targets in the secondary processing of radar information. *Journal of the Russian Universities. Radioelectronics*, 2019, vol. 22, no. 5, pp. 61–70 (In Russian). doi:10.32603/1993-8985-2019-22-5-61-70
 27. Drozdov D. O., Tatarsky B. G. Algorithm for identification primary measurements with tracked trajectories. *Information-measuring and Control Systems*, 2018, vol. 16, no. 7, pp. 12–19 (In Russian). doi:10.18127/j20700814-201807-02
 28. Zyabirov E. V., Aravin A. V., Mikhaylov S. V., Filyushkin I. P. The choice of the form and parameters of strobes at the identification of coordinate information from air target sensors in a complex of automation equipment of a battery command post. *University Proceedings. Volga Region. Technical Science*, 2018, no. 4 (48), pp. 88–95 (In Russian). doi:10.21685/2072-3059-2018-4-8
 29. Borisov E. G. Joint processing of measurements in a range-finder-Doppler multistatic radar system. *Civil Aviation High Technologies*, 2020, vol. 23, no. 2, pp. 8–19 (In Russian). doi:10.26467/2079-0619-2020-23-2-8-19

ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

Поступающие в редакцию статьи проходят обязательное рецензирование.

При наличии положительной рецензии статья рассматривается редакционной коллегией. Принятая в печать статья направляется автору для согласования редакторских правок. После согласования автор представляет в редакцию окончательный вариант текста статьи.

Процедуры согласования текста статьи могут осуществляться как непосредственно в редакции, так и по e-mail (ius.spb@gmail.com).

При отклонении статьи редакция представляет автору мотивированное заключение и рецензию, при необходимости доработать статью — рецензию.

Редакция журнала напоминает, что ответственность за достоверность и точность рекламных материалов несут рекламодатели.