

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЯ ДАТЧИКАМИ РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ НАВЕДЕНИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С УЧЕТОМ АРКТИЧЕСКИХ ГЕОМАГНИТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИЕМА СИГНАЛОВ

В.И. Лютин¹, Е.Н. Десятирикова², В.Е. Белоусов²

¹ Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Российская Федерация;

² Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация

С применением теории нелинейной фильтрации условных марковских процессов синтезирован квазилинейный алгоритм автоматического наведения беспилотного летательного аппарата, на основе которого определен способ объединения результатов наблюдений в различных физических полях и диапазонах длин волн собственных и отраженных излучений. Показано, что в комплексированных системах автоматического слежения оптимальный способ объединения результатов наблюдения заключается в формировании единого сигнала управления поворотом совмещенной оптической оси вслед за объектом как результата весового суммирования сигналов рассогласований, вырабатываемых каждой из систем наблюдения, с использованием в качестве весовых коэффициентов вероятностей обнаружения объекта. На основе полученного алгоритма в гауссовском приближении установлены потенциальные возможности по точности наведения автоматической комплексированной системой датчиков. Обнаружен синергический эффект: совместным наблюдением нескольких датчиков с невысокими показателями качества возможно слежение за плохо видимым или преднамеренно замаскированным объектом.

Ключевые слова: комплексирование результатов наблюдений, автоматическое слежение, точность слежения, теория нелинейной фильтрации, отношение правдоподобия, вероятность обнаружения.

Ссылка при цитировании: Лютин В.И., Десятирикова Е.Н., Белоусов В.Е. Комплексирование результатов наблюдения датчиками различных физических полей при автоматическом наведении беспилотных летательных аппаратов с учетом арктических геомагнитных особенностей приема сигналов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2018. Т. 11. № 3. С. 49–56. DOI: 10.18721/JCSTCS.11305

INTEGRATING RESULTS FROM OBSERVATION BY SENSORS OF VARIOUS PHYSICAL FIELDS WITH AUTOMATIC GUIDANCE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES TAKING INTO ACCOUNT ARCTIC GEOMAGNETIC FEATURES OF RECEIVING SIGNALS

V.I. Lutin¹, E.N. Desyatirikova², V.E. Belousov²

¹Zhukovsky and Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russian Federation;

²Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

Applying the theory of nonlinear filtration of conditioned Markov processes, we have synthesized a quasilinear algorithm for automatically directing an unmanned aerial vehicle, used to combine the results of observations in various physical fields and wavelength ranges for own and reflected radiation is determined. It is shown that the optimal way of combining the observation results in integrated automatic tracking systems is forming a single control signal by rotating the combined optical axis following the object, as a result of weight summation of the discrepancy signals produced by each of the observation systems, using the probabilities of object detection as weight coefficients. Based on the algorithm obtained, we have established potential possibilities for the accuracy of guidance of automatic sensors integrated by the system in the Gaussian approximation. A synergetic effect has been discovered, namely, that it is possible to track a poorly visible or intentionally disguised object by joint observation with several sensors with low quality indicators.

Keywords: integration of the results of observations, automatic tracking, tracking accuracy, the theory of nonlinear filtration, likelihood ratio, probability of detection.

Citation: Lutin V.I., Desyatirikova E.N., Belousov V.E. Integrating results from observation by sensors of various physical fields with automatic guidance of unmanned aerial vehicles taking into account Arctic geomagnetic features of receiving signals. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunications and Control Systems, 2018, Vol. 11, No. 3, Pp. 49–56. DOI: 10.18721/JCSTCS.11305

Введение

Всё возрастающее применение беспилотных летательных аппаратов (БЛА) для доставки грузов, в частности, в труднодоступных и малонаселенных местностях, к которым относятся арктические области, в автоматическом режиме и при действии преднамеренных помех со стороны конкурентов и получателя, приводит к необходимости повышения точности и помехозащищенности автоматических систем слежения за областью пространства, где расположен получатель груза или интересующий объект. В связи с этим актуально использование информации о пространственно-энергетических характеристиках объектов и фонов, получаемой различными способами при наблюдении собственных и/или отраженных излучений объекта, а также в различных участках спектра электромагнитного излучения: ультрафиолетовом, видимом, инфракрасном, радиоволновом [1]. При этом изображение просматриваемой области пространства не интерпретируется как обычный зрительный образ, воспринимаемый человеком, а является

трех-, четырех- и более мерным образом, пригодным для машинного восприятия и представляющим собой добываемую всеми доступными средствами совокупность сведений об окружающих наблюдателя объектах. Стремление к использованию результатов наблюдений объекта в различных участках спектра электромагнитного излучения приводит к необходимости разработки комплексированных систем, в составе которых применяются телевизионные, тепловизионные, радиолокационные и другие средства формирования изображений [2, 3]. Для повышения точности вывода БЛА оснащаются инерциальной навигационной системой (ИНС) [2], корректируемой по сигналам от системы глобального позиционирования (GPS) [2, 3], но при действии полярных сияний эффективность GPS снижается [4].

Цель работы – установление принципа построения и определение потенциальной точности слежения систем автоматического наведения БЛА с комплексированием средств слежения в различных физических полях и диапазонах длин волн собственных и отраженных излучений.

Формализация задачи и алгоритма решения

Автоматическое слежение заключается в совмещении оптической оси комплексированной системы датчиков с линией визирования объекта. По величине углов отклонения оптической оси датчиков от строительной оси БЛА в вертикальной и горизонтальной плоскостях вырабатываются команды корректировки движения БЛА.

Методом решения подобных задач является применение теории нелинейной фильтрации дискретных и непрерывных марковских процессов [5, 6]. При этом характер изменений вида объекта в каждом из каналов наблюдения, обусловленный поворотами и преднамеренными видоизменениями наблюдаемого объекта, описывается марковской цепью, причем сами виды объекта и их число заранее заданы, а характер изменения единых для изображений во всех каналах наблюдения непрерывных параметров – угловых отклонений линии визирования от оптической оси в двух взаимно перпендикулярных плоскостях – от кадра к кадру в силу медленности их изменения описывается гауссовской марковской последовательностью.

Примем, что наблюдение объекта ведется в N каналах, каждый из которых соответствует одному из физических полей, а совмещение линии визирования и оптической оси нужно выполнить в одной плоскости. Пусть смена значений дискретного параметра описывается последовательностью с независимыми состояниями с равными одношаговыми условными вероятностями перехода $\pi_m(\mu_k^{(n)} | \mu_{k-1}^{(n)}) = 1/M_n$, где M_n – число различаемых дискретных параметров; $\mu_k^{(n)} = \overline{1, M_n}$ – значения дискретных параметров, определяющих вид наблюдаемого объекта в n -ом канале наблюдения, $n = \overline{1, N}$. Априорное рекуррентное стохастическое уравнение для изменений непрерывного параметра в дискретном времени имеет следующий вид:

$$\lambda_k = R_\lambda \lambda_{k-1} + \sigma_\lambda \sqrt{1 - R_\lambda^2} \cdot \xi_k,$$

где R_λ – коэффициент корреляции значений параметра на соседних шагах; σ_λ^2 – априорная дисперсия параметра; ξ_k – по-

следовательность стандартных нормальных чисел.

Будем считать, что в каждом канале на фоне аддитивного гауссовского шума наблюдаются последовательности изображений объекта и прилегающего фона на плоскости $\{s_{ijk}^{(n)}(\lambda_k, \mu_k^{(n)})\}$, $i = \overline{1, I}$, $j = \overline{1, J}$, $n = \overline{1, N}$

$$y_{ijk}^{(n)} = s_{ijk}^{(n)}(\lambda_k, \mu_k^{(n)}) + n_{ijk}^{(n)},$$

где $n_{ijk}^{(n)}$ – отсчеты белых шумов с дисперсиями σ_n^2 ; i, j – номера элементов изображений; I, J – размеры изображений в каждом из n каналов наблюдения.

В силу независимости шумов функция правдоподобия параметров записывается в виде [5, 6]:

$$L(\lambda_k, \mu_k^{(n)}) = \prod_{m=1}^{M_n} \prod_{i=1}^{I_n} \prod_{j=1}^{J_n} w\{y_{ijk}^{(n)} - s_{ijk}^{(m)}(\lambda_k, \mu_k^{(m)})\},$$

$$n = \overline{1, N},$$

где $w(\bullet)$ – плотности распределения вероятностей значений отсчетов шумов, $\mu_k, n = \overline{1, N}$ – значения дискретных параметров в N каналах наблюдения на k -ом шаге.

Тогда логарифм одношаговой функции правдоподобия (ЛОФП) записывается в виде

$$\Pi_k(\lambda_k, \mu_k^{(n)}) = \sum_{m=1}^{M_n} \Pi_{km}(\lambda_k, \mu_k^{(m)}), \quad n = \overline{1, N}.$$

При гауссовском характере шумов и в случае неэнергетических параметров ЛОФП записывается в виде [5–7]:

$$\Pi_k(\lambda_k, \mu_k^{(n)}) = \sum_{m=1}^{M_n} \sigma_n^{-2} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J y_{ijk}^{(n)} \cdot s_{ijk}^{(m)}(\lambda_k, \mu_k^{(m)}),$$

$$n = \overline{1, N}.$$

Финальное апостериорное совместное распределение вероятностей параметров $\lambda_k, \mu_k^{(n)}$, $n = \overline{1, N}$ равно

$$w_{ps}(\lambda_k, \mu_k^{(n)}) = h_k \cdot \exp\{\Pi_k(\lambda_k, \mu_k^{(n)})\} \times$$

$$\times w^\varnothing(\lambda_k, \mu_k^{(n)}), \quad n = \overline{1, N}, \tag{1}$$

где

$$h_k^{-1} = \sum_{n=1}^N \int_{\{\lambda_k\}} \exp\{\Pi_k(\lambda_k, \mu_k^{(n)})\} \cdot w^\varnothing(\lambda_k, \mu_k^{(n)}) d\lambda_k -$$

постоянная нормировки.

Входящая в это выражение экстрапо-

лированная плотность вероятности непрерывного параметра равна

$$w^3(\lambda_k, \mu_k^{(n)}) = \int_{\{\lambda_{k-1}\}} \prod_{m=1}^{M_n} w(\lambda_k, \mu_k^{(m)} | \lambda_{k-1}, \mu_{k-1}^{(m)}) \times w_{ps}(\lambda_{k-1}, \mu_{k-1}^{(m)}) d\lambda_{k-1}, \quad n = \overline{1, N}, \quad (2)$$

где

$$w(\lambda_k, \mu_k^{(m)} | \lambda_{k-1}, \mu_{k-1}^{(m)}) = w(\lambda_k | \lambda_{k-1}) p(\mu_{k-1}^{(m)}) \pi(\mu_k^{(m)} | \mu_{k-1}^{(m)}),$$

$p(\mu_{k-1}^{(m)})$, $m = \overline{1, N}$ – апостериорные вероятности дискретных параметров в m каналах на $(k - 1)$ -ом шаге.

Решение о значениях параметров μ_k , $k = \overline{1, N}$ и λ_k принимается по критерию максимума апостериорных вероятностей:

$$P_{ps}(\mu_k^{(n)}) = \int_{-\infty}^{\infty} w_{ps}(\lambda_k, \mu_k^{(n)}) w(\lambda_k) d\lambda_k, \\ \hat{\mu}_k = \arg \max_n P_{ps}(\mu_k^{(n)}).$$

При малом уровне собственных шумов в случае медленных изменений непрерывного параметра (постоянного в каждом кадре), безусловное финальное апостериорное распределение вероятностей непрерывного параметра $w_{ps}(\lambda_k) = \sum_{n=1}^N w_{ps}(\lambda_k, \mu_k^{(n)})$ целесообразно искать в виде гауссовского закона [6, 8], в котором апостериорное среднее m_k является оценкой непрерывного параметра $\hat{\lambda}_k = m_k$, а апостериорная дисперсия d_k характеризует точность слежения.

С применением разложения ЛОФП в ряд Тейлора по непрерывному параметру в окрестности значения $\lambda_k^3 = R_\lambda \cdot \hat{\lambda}_{k-1}$, соответствующего максимуму экстраполированной плотности вероятности непрерывного параметра, из выражений (1) и (2) получается алгоритм фильтрации в виде трех уравнений для апостериорной вероятности дискретного параметра, оценки и дисперсии оценки непрерывного параметра:

$$P_{ps}(\mu_k^{(n)}) = C_k \cdot \prod_{m=1}^{M_n} \left[\exp\{\Pi_k(\lambda_k^3, \mu_k^{(m)})\} \times \sqrt{\chi_k(\mu_k^{(m)}) \cdot D^{-1}} \exp\left\{\frac{1}{2} \cdot \chi_k(\mu_k^{(m)}) \times \right.\right.$$

$$\left. \times [\Pi'_\lambda(\lambda_k^3, \mu_k^{(m)})]^2 \right\}, \quad n = \overline{1, N},$$

$$\hat{\lambda}_k = \lambda_k^3 + \sum_{n=1}^N \pi_n(\mu_{kn} | \mu_{k-1n}) \cdot \chi_k(\mu_k^{(n)}) \times \sum_{m=1}^{M_n} P_{ps}(\mu_k^{(m)}) \cdot \Pi'_\lambda(\lambda_k^3, \mu_k^{(n)}), \quad (3)$$

$$d_k = C_k \cdot \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^{M_n} \frac{\exp\{\Pi(\lambda_k^3, \mu_k^{(m)})\}}{\sqrt{\chi_k(\mu_k^{(n)}) D^{-1}}} \times$$

$$\times \exp\left\{\frac{1}{2} \cdot \chi_k(\mu_k^{(n)}) \cdot [\Pi'_\lambda(\lambda_k^3, \mu_k^{(n)})]^2\right\} \times \\ \times [(\chi_k(\mu_k^{(n)}) \cdot \Pi'_\lambda(\lambda_k^3, \mu_k^{(n)}) + \lambda_k^3 - \hat{\lambda}_k)^2 + \chi_k(\mu_k^{(n)})],$$

где C_k – постоянная нормировки; $d_0 = (1 - R_\lambda^2) \sigma_\lambda^2$ – дисперсия плотности вероятности перехода; $D = d_0 + R_\lambda^2 d_{k-1}$ – дисперсия экстраполированной оценки непрерывного параметра; $\Pi'_\lambda(\lambda_k^3, \mu_k^{(n)})$ – производная от ЛОФП; $\chi_k(\mu_k^{(n)}) = D / [1 - D \cdot \bar{\Pi}''_{\lambda\lambda}(\lambda_k^3, \mu_k^{(n)})]$ – кумулянт экстраполированного распределения вероятностей непрерывного параметра; $\bar{\Pi}''_{\lambda\lambda}(\lambda_k^3, \mu_k^{(n)}) = -q_{\mu k} \cdot R''_{\lambda\lambda}(0, \mu_k)$ – сигнальная часть второй производной ЛОФП [1]; $q_{\mu k}$ – отношение сигнал/шум; $R''_{\lambda\lambda}(0, \mu_k)$ – вторая производная от функции корреляции наблюдаемого изображения.

Минимальные значения величин $\chi_k(\mu_k^{(n)})$ равны D , поэтому для упрощения алгоритмов величина $\chi_k(\mu_k^{(n)})$ принимается одинаковой и равной κ_n для всех значений дискретного параметра каждого канала и соответствующей стационарному режиму наблюдения, наступающему после захвата объекта на автосопровождение. Тогда алгоритм (3) принимает вид:

$$\hat{\lambda}_k = \lambda_k^3 + \sum_{n=1}^N \kappa_n \cdot \sum_{m=1}^{M_n} P_{ps}(\mu_k^{(m)}) \cdot \Pi'_\lambda(\lambda_k^3, \mu_k^{(m)}). \quad (4)$$

Апостериорные вероятности дискретных параметров равны [7]:

$$P_{ps}(\mu_k^{(n)}) \cong \exp\{\Pi_k(\lambda_k^3, \mu_k^{(m)})\} \times \left[\sum_{m=1}^{M_n} \exp\{\Pi_k(\lambda_k^3, \mu_k^{(m)})\} \right]^{-1}, \quad n = \overline{1, N}.$$

Оценка непрерывного параметра формируется как весовая сумма сигналов рас-

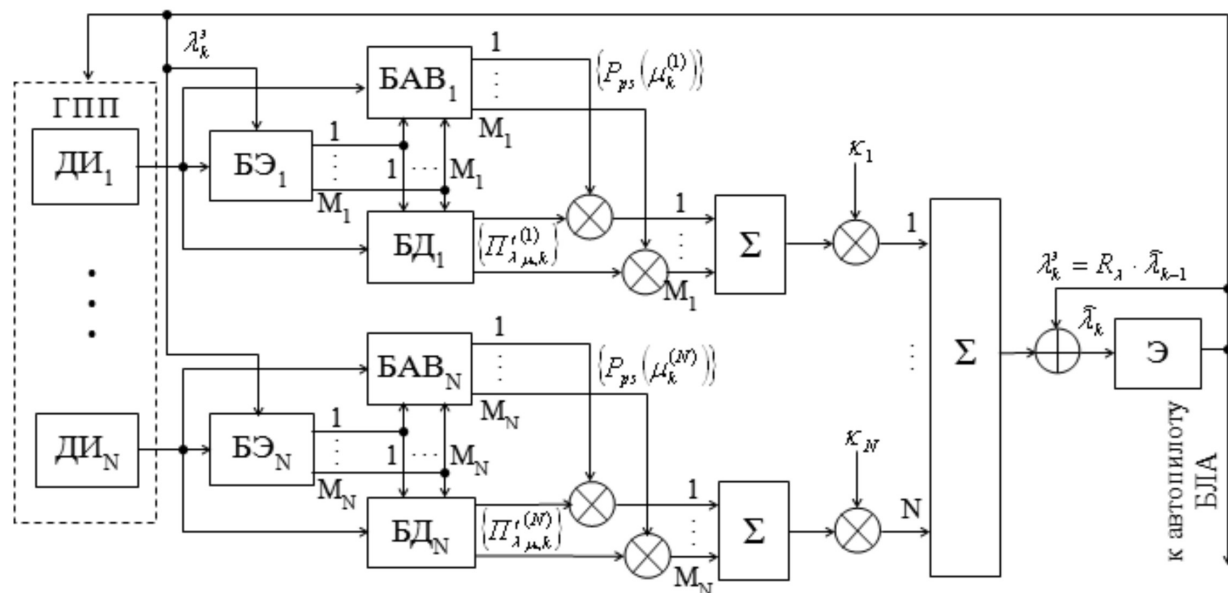


Рис. 1. Структурная схема комплексированной системы автоматического слежения

Fig. 1. Block diagram of the integrated automated tracking system

согласования с весами, равными апостериорным вероятностям обнаружения объекта в различных физических полях [8, 9].

Структура системы слежения

Структурная схема синтезированной системы приведена на рис. 1.

На рисунке обозначено: ДИ_n, $n = \overline{1, N}$ – датчики изображений, один из которых от системы GPS; ГПП – гиростабилизированная поворотная платформа; БД_n – блоки дискриминаторов; БЭ_n – банки эталонных изображений; БАВ_n – блоки апостериорных вероятностей; Σ – сумматоры; Э – экстраполятор. Отличительная особенность синтезированной структурной схемы заключается в её замкнутости как системы автоматического управления с обратной связью по решению, чего не удастся получить, используя теорию оценивания непрерывных параметров [10]. Техническая реализация системы возможна лишь с применением компьютерных технологий обработки результатов наблюдений, что требует отдельного рассмотрения.

Анализ точности системы слежения

Потенциальная точность слежения

определена при допущении, что в каждом из каналов наблюдается объект с постоянным контрастом на равномерном фоне и обнаруживается с вероятностью P_n^* :

$$P_n = 0,5 - \Phi_0(\Phi_0^{-1}(F - 0,5) - q_n), \quad n = \overline{1, N}, \quad (5)$$

где $\Phi_0(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \exp\{-t^2/2\} dt$ – нормированная функция ошибок; q_n – параметр обнаружения объекта; F – вероятность ложной тревоги.

Параметр обнаружения объекта комплексированной системой датчиков равен [7]:

$$q = \sum_{n=1}^N q_n. \quad (6)$$

Вероятность обнаружения объекта комплексированной системой датчиков изображений P определяется подстановкой (6) в (5) вместо q_n .

Точность слежения определяется из рекуррентного уравнения для апостериорной дисперсии оценивания непрерывного па-

* Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. 11-е изд. стер. М.: КНОРУС, 2010. 664 с.

параметра d_k , которое с введением понятия относительной апостериорной дисперсии $\delta_k^2 = d_k / \sigma_\lambda^2$, где $\sigma_\lambda^2 = (\alpha_0 \cdot L)^2$ – априорная дисперсия непрерывного параметра при среднеквадратическом угловом отклонении α_0 неуправляемого полёта БЛА (при не работающих GPS и других датчиках) и дальности пуска L , примет вид [9]:

$$\delta_k^2 = \frac{P}{[1 + R_\lambda^2(\delta_{k-1}^2 - 1)]^{-1} + z} + \frac{1 - P}{[1 + R_\lambda^2(\delta_{k-1}^2 - 1)]^{-1}}, \quad (7)$$

где $z = \sigma_\lambda^2 q$ – обобщённый параметр обнаружения объекта комплексированной системой.

Вероятность удержания оптической оси комплексированной системы слежения в пределах видимой проекции объекта равна [8]:

$$P_c = [0,5 - \Phi_0(\Delta\varphi_g / (\sigma_\lambda \cdot \delta))] \times [0,5 - \Phi_0(\Delta\varphi_v / (\sigma_\lambda \cdot \delta))], \quad (8)$$

где $\Delta\varphi_g, \Delta\varphi_v$ – угловые размеры видимой проекции объекта; δ – стационарное решение уравнения (7).

Если в одном из каналов, например в канале приема сигналов GPS, известна вероятность обнаружения объ-

екта (сигнала GPS) P_N , то из выражения (5) при вероятности ложной тревоги F_N определяется параметр обнаружения $q_N = \Phi_0^{-1}(F_N - 0,5) - \Phi_0^{-1}(0,5 - P_N)$.

На рис. 2 приведены зависимости ошибок системы слежения Δ от параметра q и вероятности P обнаружения объекта при различных дальностях наблюдения L комплексированной системой датчиков. При расчете ошибок слежения $\Delta = \delta\sigma_\lambda$ с применением рекуррентного выражения (7) принято, что $\alpha_0 = 5$ мрад (реальный увод на 1...2 км при полёте длительностью час на дальность 1000 км за счет отклонения оси не корректируемого гироскопа из-за вращения Земли), $R_\lambda = 0,99$, $F = 0,01$.

Увеличение параметра обнаружения объекта более 7 не приводит к снижению ошибок слежения, следовательно, ухудшение условий наблюдения объекта в каждом из каналов парируется увеличением числа каналов наблюдения [11]. Поэтому для сохранения работоспособности комплексированной системы датчиков необходимо всемерно повышать параметр и вероятность обнаружения каждым из датчиков.

Основным ограничением применения средств наблюдения каждого из каналов является дальность, поэтому особенность комплексированных систем нередко заклю-

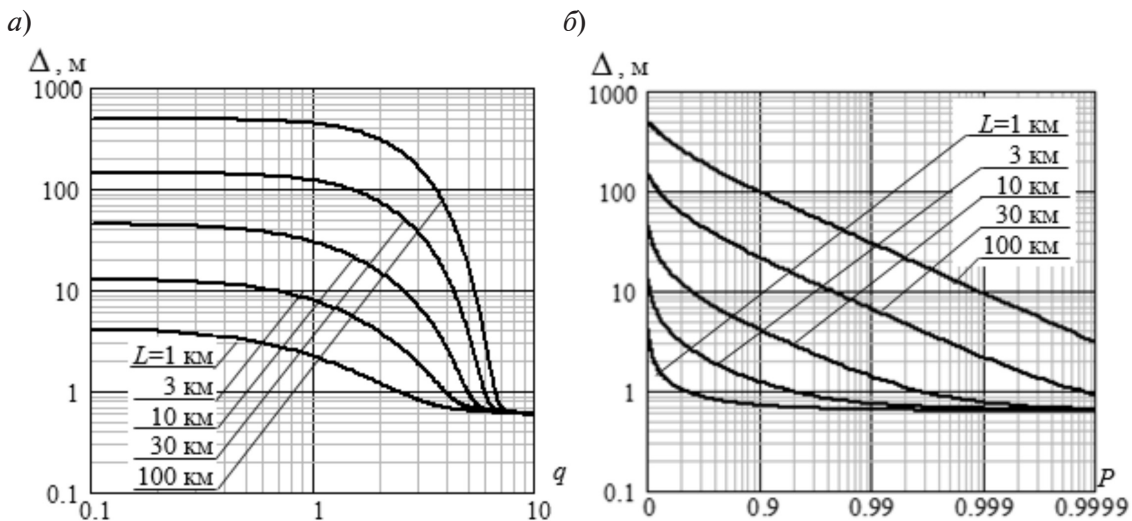


Рис. 2. Зависимости ошибок слежения при различных дальностях наблюдения: а – от параметра обнаружения объекта; б – от вероятности обнаружения объекта

Fig. 2. Dependencies of tracking errors at different observation ranges: а – on the object detection parameter; б – the probability of detection of the object

чается в использовании каждого из каналов поочередно.

Заключение

В комплексированных системах автоматического слежения оптимальный способ объединения результатов наблюдения заключается в формировании единого сигнала управления поворотом совмещенной оптической оси вслед за объектом как результата весового суммирования сигналов рассогласований, вырабатываемых каждой из систем наблюдения, с использованием в качестве весовых коэффициентов вероят-

ностей обнаружения объекта. Существует значение параметра обнаружения, при котором точность вывода БЛА не зависит от дальности наблюдения объекта, а значит, можно произвести размен числа каналов наблюдения на качество обнаружения объекта в каждом из них. В этом заключается синергетический эффект: совместным наблюдением нескольких датчиков с невысокими показателями качества возможно слежение за плохо видимым или преднамеренно замаскированным объектом, чего нельзя достичь при использовании одного высококачественного датчика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ярлыков М.С.** Статистическая теория радионавигации. М.: Радио и связь, 1985. 345 с.
2. **Борисов Е.Г., Евдокимов В.И.** Высокоточное оружие и борьба с ним. СПб.: Изд-во «Лань», 2013. 496 с.
3. **Юхно П.М.** Преднамеренные оптические помехи высокоточному оружию. М.: Радиотехника, 2017. 640 с.
4. **Черноус С.А.** Навигация GPS/ГЛОНАСС в Арктике и полярные сияния // Вестник Мурманского государственного университета. 2016. Т. 19. № 4. С. 806–812.
5. **Амиантов И.Н.** Избранные вопросы статистической теории связи. М.: Сов. радио, 1971. 416 с.
6. **Тихонов В.И., Кульман Н.К.** Нелинейная фильтрация и квазикогерентный приём сигналов. М.: Сов. радио, 1976. 704 с.
7. **Лютин В.И.** Технология комплексирования тепловизионных и радиометрических изображений в задачах распознавания объектов // Радиотехника. Научно-технические технологии. 2003.

№ 11–12. С. 3–6.

8. **Lutin V.I., Mager V.E., Desyatirikova E.N.** The processing of signals from sensors to observe objects in various physical fields // Proc. of the IEEE EIconRus. St. Petersburg, Moscow, 2018. Pp. 1132–1137.

9. **Лютин В.И.** Алгоритм автоматического слежения при наблюдении объектов в различных физических полях // Радиосистемы. 2001. № 10. С. 33–36.

10. **Лютин В.И., Десятирикова Е.Н., Макеева О.Б.** Достоверность обработки сигналов от датчиков наблюдения объектов в различных физических полях // Теория и техника радиосвязи. 2018. Вып. 1. С. 58–65.

11. **Lutin V.I., Shipilova E.A., Chernenkaya L.V., Mager V.E., Desyatirikova E.N., Makeeva O.B.** The effectiveness of complex signal processing from object observation sensors in various physical fields // Proc. of the 21st IEEE International Conf. on Soft Computing and Measurements, SCM 2018. St. Petersburg, Moscow, 2018. Pp. 77–80.

Статья поступила в редакцию 11.07.2018.

REFERENCES

1. **Yarlykov M.S.** *Statisticheskaya teoriya radionavigatsii* [Statistical theory of radio navigation]. Moscow: Radio i svyaz Publ., 1985, 345 p. (rus)
2. **Borisov Ye.G., Yevdokimov V.I.** *Vysokotochnoye oruzhiye i borba s nim* [Precision weapons and the fight against it]. St. Petersburg: Lan Publ., 2013, 496 p. (rus)
3. **Yukhno P.M.** *Prednamerennyye opticheskiye pomexi vysokotochnomu oruzhiyu* [Intentional optical interference to high-precision weapons]. Moscow: Radiotekhnika Publ., 2017, 640 p. (rus)
4. **Chernous S.A.** *Navigatsiya GPS/GLONASS v Arktike i polyarnyye siyaniya* [Navigation GPS/

GLONASS in the Arctic and the Aurora]. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, Vol. 19, No. 4, Pp. 806–812. (rus)

5. **Amiantov I.N.** *Izbrannyye voprosy statisticheskoy teorii svyazi* [Selected questions of the statistical theory of communication]. Moscow: Sov. Radio Publ., 1971, 416 p. (rus)

6. **Tikhonov V.I., Kulman N.K.** *Nelineynaya filtratsiya i kvazikogerentnyy priyem signalov* [Nonlinear filtering and quasi-coherent signal reception]. Moscow: Sov. Radio Publ., 1976, 704 p. (rus)

7. **Lutin V.I.** *Tekhnologiya kompleksirovaniya teplovizionnykh i radiometricheskikh izobrazheniy*

zadachakh raspoznavaniya obyektov [Technology of integration of thermal imaging and radiometric images in object recognition problems]. *Radiotekhnika. Naukoyemkiye tekhnologii*, 2003, No. 11–12, Pp. 3–6. (rus)

8. **Lutin V.I., Mager V.E., Desyatirikova E.N.** The processing of signals from sensors to observe objects in various physical fields. *Proceedings of the IEEE ElConRus*, St. Petersburg and Moscow, Russia, 2018, Pp. 1132–1137.

9. **Lutin V.I.** Algoritm avtomaticheskogo slezheniya pri nablyudenii obyektov v razlichnykh fizicheskikh polyakh [The algorithm of automatic tracking when observing objects in different physical fields]. *Radiosistemy*, 2001, No. 10, Pp. 33–36. (rus)

10. **Lutin V.I., Desyatirikova E.N., Makeeva O.B.** Dostovernost obrabotki signalov ot datchikov nablyudeniya obyektov v razlichnykh fizicheskikh polyakh [Reliability of signal processing from object observation sensors in various physical fields]. *Teoriya i tekhnika radiosvyazi*, 2018, Vol. 1, Pp. 58–65. (rus)

11. **Lutin V.I., Shipilova E.A., Chernenkaya L.V., Mager V.E., Desyatirikova E.N., Makeeva O.B.** The effectiveness of complex signal processing from object observation sensors in various physical fields, *Proceedings of the 21st IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements*, St. Petersburg and Moscow, Russia, 2018, Pp. 77–80.

Received 11.07.2018.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / THE AUTHORS

ЛЮТИН Владимир Иванович
LUTIN Vladimir I.
E-mail: science2000@ya.ru

ДЕСЯТИРИКОВА Елена Николаевна
DESYATIRIKOVA Elena N.
E-mail: science2000@ya.ru

БЕЛОУСОВ Вадим Евгеньевич
BELOUSOV Vadim E.
E-mail: science2000@yandex.ru