

УДК 621.396.96

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОШИБОК РАЗОВОГО ОЦЕНИВАНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ НАБЛЮДАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ В БОРТОВЫХ ОПТИКО-ЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

А.С. СОЛОНАР, П.А. ХМАРСКИЙ, А.А. МИХАЛКОВСКИЙ, С.В. ЦУПРИК

Военная академия Республики Беларусь, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 4 декабря 2017

Аннотация. Основываясь на методе линеаризации представлена методика расчета ошибок разового оценивания местоположения наблюдаемых наземных объектов по данным бортовой оптико-локационной системы. Определены допущения и ограничения, при которых допустимо применение предлагаемой методики в режиме реального времени.

Ключевые слова: оптико-локационная система, разовые ошибки, метод линеаризации, корреляционная матрица ошибок.

Abstract. Based on the method of linearization, a technique for calculating of a single estimation errors of the observable terrestrial objects location from the data of the onboard optical-location system is presented. The assumptions and limitations under which the proposed technique acceptable in real time operation are defined.

Keywords: optical-location system, single errors, linearization method, correlation error matrix.

Doklady BGUIR. 2018, Vol. 112, No. 2, pp. 26-32

**Methodology for calculating of the different estimation errors
of observed objects location in the airborne optical-location systems**

A.S. Solonar, P.A. Khmarski, A.A. Mihalkovki, S.V. Tsuprik

Введение

Многочисленные публикации, посвященные оптико-локационным системам (ОЛС), свидетельствуют о все более расширяющихся научных, учебных и практических сферах их применения [1, 2]. Одной из разновидностей ОЛС является бортовая ОЛС, важнейшей задачей которой является сопровождение – оценивание координат и траекторных параметров наземных движущихся объектов. Вследствие возникновения эффекта «кажущихся ускорений» сопровождение наземных объектов по данным бортовой ОЛС целесообразно осуществлять в прямоугольной системе координат (СК) [3–6]. При этом с выхода устройства внутрикадровой обработки ОЛС формируются оценки координат наблюдаемых объектов в СК дискретизированного изображения. В известной литературе приведены выражения для пересчета координат различных СК бортовой ОЛС [1]. Однако пересчет ошибок измерений из СК дискретизированного изображения в прямоугольную СК не представлен, что ограничивает возможности анализа результатов наблюдений и их адекватной фильтрации. Целью настоящей статьи является разработка методики расчета ошибок разового оценивания местоположения наблюдаемых объектов в прямоугольной СК по данным бортовой ОЛС в режиме реального времени.

Постановка задачи

Начальные условия. Будем считать, что имеется бортовая ОЛС, наблюдающая за наземными объектами. Началом отсчета координат является точка старта носителя ОЛС

с поверхности Земли с прямоугольными координатами $O(x_{st}, y_{st}, z_{st})$ (рис. 1, а). Пилотажно-навигационный комплекс носителя ОЛС в дискретные моменты времени t_k формирует оценки векторов состояния носителя $\hat{\mathbf{a}}_{\text{свн}k}$ (в связанной СК, рис. 1, б), $\hat{\mathbf{a}}_{\text{GPS}k}$ (в нормальной СК, рис. 1, а) и значений их корреляционных матриц (КМ) ошибок оценивания $\mathbf{R}_{\text{инск}k}$, $\mathbf{R}_{\text{GPS}k}$:

$$\hat{\mathbf{a}}_{\text{инск}k} = \begin{bmatrix} \hat{\alpha}_k & \hat{\beta}_k & \hat{\gamma}_k \end{bmatrix}^T, \hat{\mathbf{a}}_{\text{GPS}k} = \begin{bmatrix} \hat{x}_k & \hat{y}_k & \hat{z}_k \end{bmatrix}^T, \mathbf{R}_{\text{инск}k} = \begin{bmatrix} \sigma_\alpha^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_\beta^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_\gamma^2 \end{bmatrix}, \mathbf{R}_{\text{GPS}k} = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_y^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_z^2 \end{bmatrix},$$

где $\hat{x}_k, \hat{y}_k, \hat{z}_k$ – оценки прямоугольных координат носителя в нормальной земной СК со среднеквадратическим отклонением (СКО) ошибок оценивания $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$; $\hat{\beta}_k, \hat{\epsilon}_k, \hat{\gamma}_k$ – оценки значений углов рысканья, тангажа и крена с СКО ошибок оценивания $\sigma_\beta, \sigma_\epsilon, \sigma_\gamma$ в связанной СК.

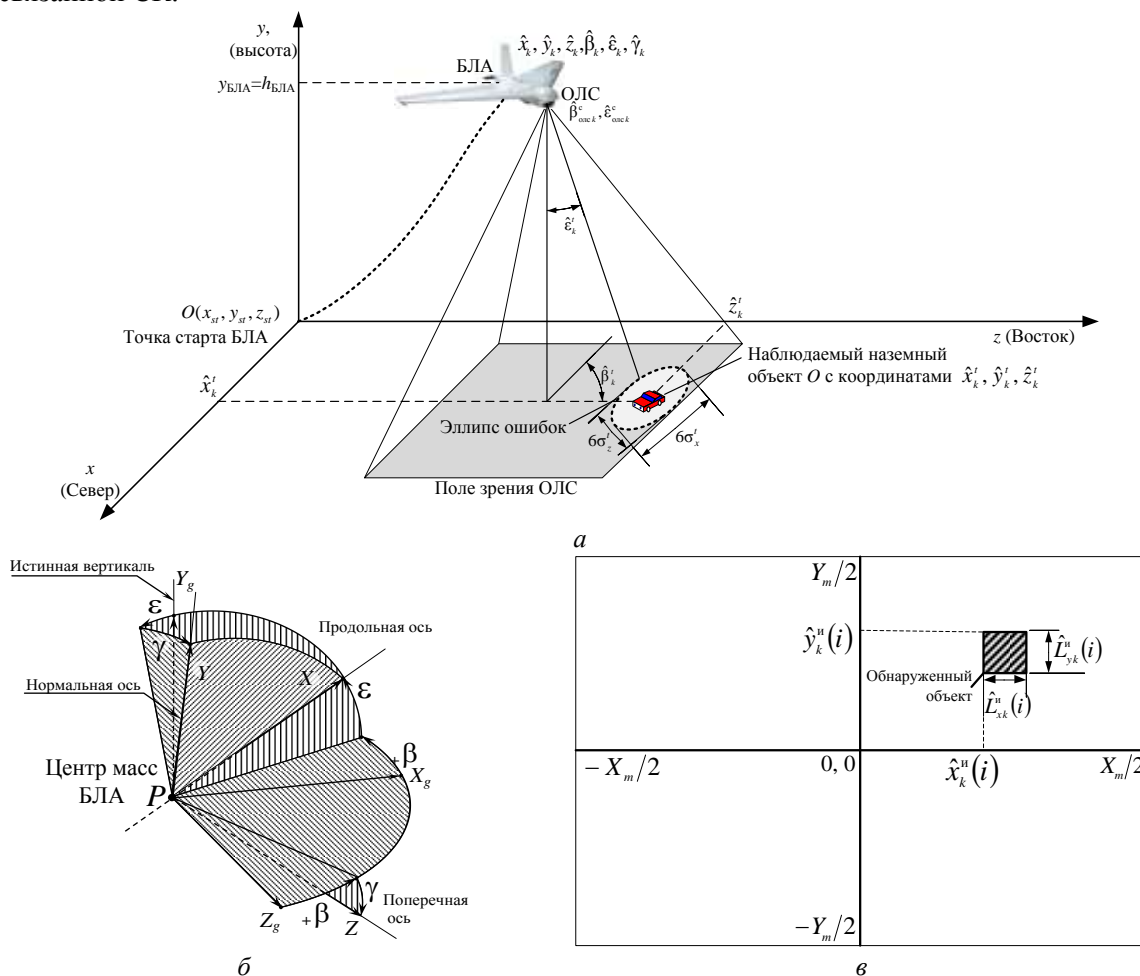


Рис. 1. Система координат: местная с центром в точке старта (а); связанная с центром масс P носителя оптико-локационной системы (б); дискретизированного изображения (в)

В момент времени t_k ОЛС выдает значения: ϵ_d – ширина угла зрения в вертикальной плоскости; X_m, Y_m – разрешение цифрового оптического изображения.

Датчики ОЛС формируют оценки вектора состояния угловых ориентаций ОЛС и его корреляционную матрицу ошибок $\hat{\mathbf{a}}_{\text{олск}k}^c, \mathbf{R}_{\text{олск}k}$:

$$\hat{\mathbf{a}}_{\text{олс } k}^c = \left\| \hat{\beta}_{\text{олс } k}^c \quad \hat{\varepsilon}_{\text{олс } k}^c \right\|^T, \quad \mathbf{R}_{\text{олс } k} = \left\| \begin{array}{cc} \sigma_{\beta_{\text{олс } k}^c}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{\varepsilon_{\text{олс } k}^c}^2 \end{array} \right\|,$$

где $\hat{\beta}_{\text{олс } k}^c, \hat{\varepsilon}_{\text{олс } k}^c$ – оценки углов ориентации ОЛС (в вертикальной и горизонтальной плоскости) и в связанной СК с СКО ошибок оценивания $\sigma_{\beta_{\text{олс } k}^c}^c, \sigma_{\varepsilon_{\text{олс } k}^c}^c$.

С выхода его блока внутрикадровой обработки формируются N разовых оценок векторов наблюдения обнаруженных целей $\hat{\boldsymbol{\theta}}_k^n(i)$, $i = 1, N$ и значения их КМ ошибок разового оценивания $\mathbf{R}_{\theta k}^n(i)$ в СК дискретизированного изображения (рис.1, в) в момент времени t_k :

$$\hat{\boldsymbol{\theta}}_k^n(i) = \left\| \hat{x}_k^n(i) \quad \hat{y}_k^n(i) \quad \hat{L}_{xk}^n(i) \quad \hat{L}_{yk}^n(i) \right\|^T, \quad \mathbf{R}_{\theta k}^n(i) = \left\| \begin{array}{cccc} \sigma_x^{n2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_y^{n2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{Lx}^{n2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{Ly}^{n2} \end{array} \right\|,$$

где $\hat{x}_k^n(i), \hat{y}_k^n(i)$ – оценки координат обнаруженного i -го объекта в СК дискретизированного изображения; $\hat{L}_{xk}^n(i), \hat{L}_{yk}^n(i)$ – оценки линейных размеров обнаруженного i -го объекта в СК дискретизированного изображения; $\sigma_x^n, \sigma_y^n, \sigma_{Lx}^n, \sigma_{Ly}^n$ – СКО разовых ошибок оценивания координат обнаруженного объекта и их линейных размеров объекта в СК дискретизированного изображения.

Задача: по полученным исходным данным $(O(x_{st}, y_{st}, z_{st}), \hat{\mathbf{a}}_{\text{инск}}, \mathbf{R}_{\text{инск}}, \hat{\mathbf{a}}_{\text{GPSk}}, \mathbf{R}_{\text{GPSk}}, \hat{\boldsymbol{\theta}}_k^n(i), \mathbf{R}_{\theta k}^n, \hat{\mathbf{a}}_{\text{олс } k}^c, \mathbf{R}_{\text{олс } k}, \varepsilon_d, X_m, Y_m)$ для момента времени t_k разработать методику оценки в режиме реального времени совокупности N разовых оценок векторов наблюдения обнаруженных целей $\hat{\boldsymbol{\theta}}_k(i)$ и значений их КМ ошибок разового оценивания $\mathbf{R}_{\theta k}(i)$ в местной прямоугольной СК:

$$\hat{\boldsymbol{\theta}}_k(i) = \left\| \hat{x}_k^t(i) \quad \hat{z}_k^t(i) \quad \hat{L}_{xk}^t(i) \quad \hat{L}_{zk}^t(i) \right\|^T, \quad \mathbf{R}_{\theta k}(i) = \left\| \begin{array}{cccc} \sigma_x^{t2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_z^{t2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{Lx}^{t2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{Lz}^{t2} \end{array} \right\|,$$

где $\hat{x}_k^t(i), \hat{z}_k^t(i)$ – разовые оценки прямоугольных координат обнаруженного i -го объекта в прямоугольной СК; $\hat{L}_{xk}^t(i), \hat{L}_{zk}^t(i)$ – оценки линейных размеров обнаруженного i -го объекта в прямоугольной СК; $\sigma_x^t, \sigma_z^t, \sigma_{Lx}^t, \sigma_{Lz}^t$ – СКО разовых ошибок оценивания прямоугольных координат обнаруженного объекта и их линейных размеров в прямоугольной СК.

Основная часть

Для обеспечения решения поставленной задачи в режиме реального времени введем ряд упрощающих вычисления допущений и ограничений.

1. Высота всех наблюдаемых объектов $h_{\text{об}}(i)$ считается равной высоте точки старта y_{st} , скорость изменения высоты наблюдаемого объекта равна нулю.

2. Высота любого i -го наблюдаемого объекта $h_{\text{об}}(i)$ в поле зрения ОЛС много меньше высоты полета носителя ОЛС $y_k: y_k \gg h_{\text{об}}(i)$.

3. Средняя высота рельефа $h_{\text{ср.рельеф}}$ равна высоте точки старта: $h_{\text{ср.рельеф}} = y_{st}$.

4. Перепады рельефа $\Delta h_{\text{рельеф}}$ пренебрежимо малы в сравнении со значением высоты полета: $\Delta h_{\text{рельеф}} \ll y_k$.

5. Углы скольжения наблюдаемых объектов в пределах кадра более 40° .

6. От кадра к кадру размеры объекта изменяются незначительно (в течение 6–10 кадров можно считать, что размеры объекта не меняются).

7. Линейные размеры наблюдаемых объектов не превышают 5–6 % от минимальной стороны размера матрицы цифрового изображения.

Пересчет совокупности N оценок значений векторов наблюдения $\hat{\theta}_k^n(i)$ из СК дискретизированного изображения в нормальную СК производится в 4 этапа.

На первом этапе производится пересчет из СК дискретизированного изображения (в пикселях) в СК визирования (в угловых координатах относительно центра ориентации оптической камеры) с учетом значений при помощи функционального преобразования [1]:

$$\begin{aligned} \hat{\varepsilon}_{pk}(i) &= \arctg\left(\frac{-\hat{x}_k^n(i)}{\left(R_{opt} \cos(\hat{\varepsilon}_{олск}^c) - \hat{y}_k^n(i) \sin(\hat{\varepsilon}_{олск}^c)\right)} + \hat{\varepsilon}_{олск}^c \frac{X_m}{Y_m}\right), \\ \hat{\beta}_{pk}(i) &= \arcsin\left(\frac{\left(R_{opt} \sin(\hat{\varepsilon}_{олск}^c) + \hat{y}_k^n(i) \cos(\hat{\varepsilon}_{олск}^c)\right)}{\sqrt{R_{opt}^2 + (\hat{x}_k^n(i))^2 + (\hat{y}_k^n(i))^2}}\right), \end{aligned} \quad (1)$$

где $R_{opt} = Y_m / (2 \tan(\varepsilon_d))$ – расстояние от центра оптической оси до центра оси дискретизированного изображения.

Так как преобразования (1) детерминированные, то в таком случае справедлив линейный пересчет ошибок измерения при переходе из СК дискретизированного изображения в СК визирования. При этом допустим аддитивный учет влияния ошибок позиционирования оптической оси ОЛС:

$$\mathbf{R}_{\theta k}^B(i) = \mathbf{H}^n \mathbf{R}_{\theta k}^n(i) (\mathbf{H}^n)^T \left\| \begin{matrix} m_T & 0 \\ 0 & m_B \end{matrix} \right\| + \left\| \begin{matrix} \sigma_{\beta_{олск}^c}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{\varepsilon_{олск}^c}^2 \end{matrix} \right\|, \quad \mathbf{H}^n = \left\| \begin{matrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{matrix} \right\|,$$

где $m_T = \varepsilon_d / X_m$, $m_B = m_T Y_m / X_m$ – линейные коэффициенты преобразования ошибок измерения; \mathbf{H}^n – матрица статического пересчета.

На втором этапе определяются прямоугольные координаты наблюдаемых объектов в СК визирования WUV (рис. 2).

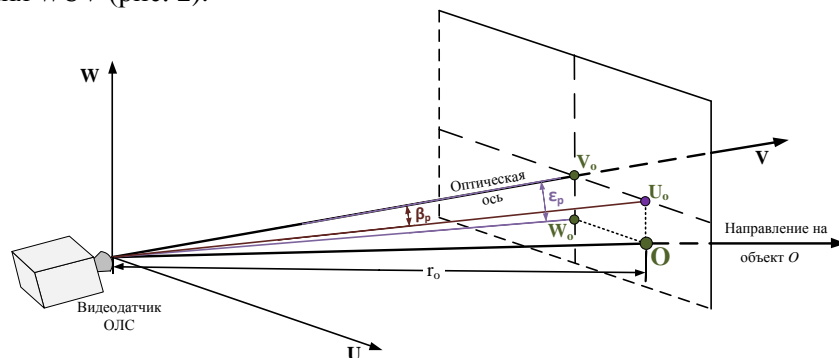


Рис. 2. Система координат визирования WUV

На рис. 3 приведены полученные методом математического моделирования зависимости изменения суммарной ошибки измерения местоположения $\Delta_{\Sigma, H} / \Delta_{\Sigma}$ от перепадов рельефа $\Delta h_{\text{рельеф}}$ в процентном отношении относительно высоты носителя y_k . Как видно из рис. 3, увеличение составляющих КМ \mathbf{R}_{GPSk} приводит к снижению влияния перепадов рельефа $\Delta h_{\text{рельеф}}$. Наибольший вклад в суммарную ошибку измерения вносят перепады рельефа при минимальной ошибке σ_{GPS} (на рис. 3 – 1 м), в таком случае требования

к допущениям снижаются. Выработанные допущения выполняются при $\Delta h_{\text{рельеф.}}/h_{\text{БЛА}} < 10\%$, когда суммарный вклад в ошибку измерения местоположения не превышает 10% при минимальных значениях σ_{GPS} .

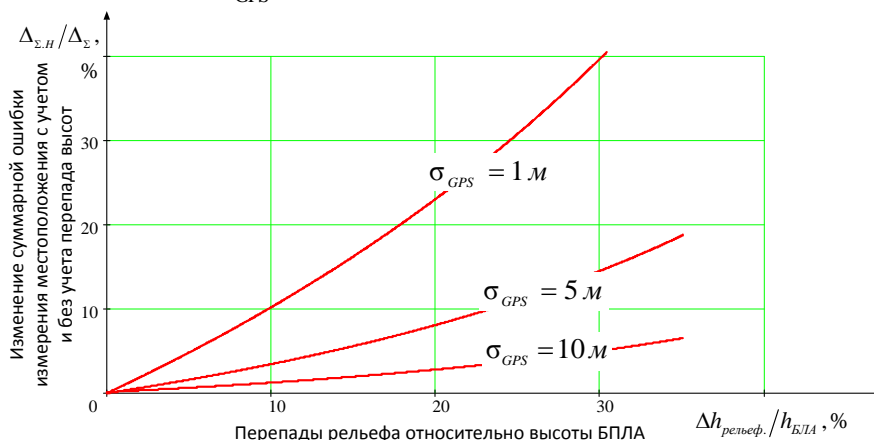


Рис. 3. Влияние перепадов рельефа на суммарную ошибку измерения местоположения

С учетом принятых ограничений дальность до i -го наблюдаемого объекта равняется $\hat{r}_{ok}(i) = \hat{y}_k / \cos(\hat{\varepsilon}_{pk}(i))$. Тогда прямоугольные координаты в СК визирования будут равны:

$$\hat{W}_{ok}(i) = \hat{r}_{ok}(i) \sin(\hat{\varepsilon}_{pk}(i)), \quad \hat{U}_{ok}(i) = \hat{r}_{ok}(i) \sin(\hat{\theta}_{pk}(i)), \quad \hat{V}_{ok}(i) = \hat{r}_{ok}(i) \sqrt{\cos^2(\hat{\varepsilon}_{pk}(i)) - \sin^2(\hat{\theta}_{pk}(i))}.$$

С целью обеспечения работоспособности методики в режиме реального времени оценка КМ в СК визирования производится при помощи метода линеаризации, при использовании которого [3, 4]: для аппроксимации математического ожидания предполагается, что влиянием второго и более высоких порядков можно пренебречь; для аппроксимации КМ предполагается, что все нечетные члены ряда Тейлора будут равны нулю, а влиянием четвертого и более высоких порядков можно пренебречь. В СК визирования КМ ошибок разового оценивания координат i -го наблюдаемого объекта методом линеаризации определяется как

$$\mathbf{R}_B^{WUV}(i) = \mathbf{H}_B^{WUV}(i) \begin{vmatrix} \mathbf{R}_{\theta k}^B(i)_{0,0} + \sigma_y^2 \hat{r}_{ok}(i)^2 & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{R}_{\theta k}^B(i)_{1,1} & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{R}_{\theta k}^B(i)_{2,2} \end{vmatrix} \left(\mathbf{H}_B^{WUV}(i) \right)^T,$$

$$\mathbf{H}_B^{WUV}(i) = \begin{vmatrix} \cos(\hat{\theta}_{pk}(i)) \sin(\hat{\varepsilon}_{pk}(i)) & -\hat{r}_{ok}(i) \sin(\hat{\theta}_{pk}(i)) \cos(\hat{\varepsilon}_{pk}(i)) & \hat{r}_{ok}(i) \cos(\hat{\theta}_{pk}(i)) \cos(\hat{\varepsilon}_{pk}(i)) \\ \sin(\hat{\theta}_{pk}(i)) \sin(\hat{\varepsilon}_{pk}(i)) & \hat{r}_{ok}(i) \cos(\hat{\theta}_{pk}(i)) \sin(\hat{\varepsilon}_{pk}(i)) & \hat{r}_{ok}(i) \sin(\hat{\theta}_{pk}(i)) \cos(\hat{\varepsilon}_{pk}(i)) \\ \cos(\hat{\varepsilon}_{pk}(i)) & 0 & -\hat{r}_{ok}(i) \sin(\hat{\varepsilon}_{pk}(i)) \end{vmatrix}, \quad (2)$$

На третьем этапе производится пересчет через оценки $\hat{\mathbf{a}}_{\text{инск}} = \left\| \hat{\alpha}_k \quad \hat{\beta}_k \quad \hat{\gamma}_k \right\|^T$ и $\hat{\mathbf{a}}_{\text{олск}}^c = \left\| \hat{\beta}_{\text{олск}}^c \quad \hat{\varepsilon}_{\text{олск}}^c \right\|^T$ в нормальную прямоугольную СК согласно функциональным преобразованиям [1]:

$$\hat{\boldsymbol{\theta}}_k^c(i) = \left\| \hat{x}_k^c(i) \quad \hat{y}_k^c(i) \quad \hat{z}_k^c(i) \right\|^T = \mathbf{B}^T(\alpha, \beta, \gamma) \mathbf{D}^T(\varepsilon_{\text{олск}}, \beta_{\text{олск}}) \left\| \hat{W}_{ok}(i) \quad \hat{U}_{ok}(i) \quad \hat{V}_{ok}(i) \right\|^T,$$

$$\mathbf{B}(\alpha, \beta, \gamma) = \begin{vmatrix} \cos(\hat{\gamma}) & 0 & -\sin(\hat{\gamma}) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\hat{\gamma}) & 0 & \cos(\hat{\gamma}) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\hat{\beta}) & \sin(\hat{\beta}) \\ 0 & -\sin(\hat{\beta}) & \cos(\hat{\beta}) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos(\hat{\alpha}) & \sin(\hat{\alpha}) & 0 \\ -\sin(\hat{\alpha}) & \cos(\hat{\alpha}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix},$$

$$\hat{\gamma} = \hat{\gamma}_k, \hat{\beta} = \hat{\beta}_k, \hat{\alpha} = \hat{\alpha}_k, D(\varepsilon_{\text{олс}}, \beta_{\text{олс}}) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\hat{\varepsilon}_{\text{олс}k}) & \sin(\hat{\varepsilon}_{\text{олс}k}) \\ 0 & -\sin(\hat{\varepsilon}_{\text{олс}k}) & \cos(\hat{\varepsilon}_{\text{олс}k}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(\hat{\beta}_{\text{олс}k}) & \sin(\hat{\beta}_{\text{олс}k}) & 0 \\ -\sin(\hat{\beta}_{\text{олс}k}) & \cos(\hat{\beta}_{\text{олс}k}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Оценка КМ в нормальной СК также производится при помощи метода линеаризации с учетом значений ошибок измерения $\mathbf{R}_{\text{инск}}$ согласно выражениям:

$$\mathbf{R}_k^c(i) = \mathbf{H}_k^c(i) \mathbf{R}_{\hat{A}}^{WUV}(i) (\mathbf{H}_k^c(i))^T + \begin{pmatrix} \sigma_{\beta}^2 \hat{r}_{\text{ок}}^2(i) & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{\alpha}^2 \hat{r}_{\text{ок}}^2(i) & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\gamma}^2 \hat{r}_{\text{ок}}^2(i) \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{H}_k^c(i) = \begin{pmatrix} \cos(\hat{\gamma}) \cos(\hat{\alpha}) - \sin(\hat{\gamma}) \sin(\hat{\beta}) \sin(\hat{\alpha}) & -\cos(\hat{\beta}) \sin(\hat{\alpha}) & \sin(\hat{\gamma}) \cos(\hat{\alpha}) + \cos(\hat{\gamma}) \sin(\hat{\beta}) \sin(\hat{\alpha}) \\ \cos(\hat{\gamma}) \sin(\hat{\alpha}) + \sin(\hat{\gamma}) \sin(\hat{\beta}) \cos(\hat{\alpha}) & \cos(\hat{\beta}) \sin(\hat{\alpha}) & \sin(\hat{\gamma}) \sin(\hat{\alpha}) - \cos(\hat{\gamma}) \sin(\hat{\beta}) \cos(\hat{\alpha}) \\ -\sin(\hat{\gamma}) \cos(\hat{\beta}) & \sin(\hat{\beta}) & \cos(\hat{\gamma}) \cos(\hat{\beta}) \end{pmatrix}.$$

На четвертом этапе производится пересчет в нормальную неподвижную прямоугольную СК путем переноса:

$$\hat{\boldsymbol{\theta}}_k(i) = \begin{pmatrix} \hat{x}_k^c(i) & \hat{y}_k^c(i) & \hat{z}_k^c(i) \end{pmatrix}^T + \begin{pmatrix} \hat{x}_k & \hat{y}_k & \hat{z}_k \end{pmatrix}^T - \begin{pmatrix} x_{st} & y_{st} & z_{st} \end{pmatrix}^T.$$

В значения КМ ошибок измерения $\hat{\boldsymbol{\theta}}_k(i)$ аддитивно добавляются ошибки измерения $\mathbf{R}_{\text{GPS}k}$: $\mathbf{R}_{\theta k}(i) = \mathbf{R}_k^c(i) + \mathbf{R}_{\text{GPS}k}$.

Для учета искажений, вносимых в оценку линейных размеров наблюдаемых объектов, вычисления проводятся для четырех точек $((\hat{x}_k^n(i), \hat{y}_k^n(i)), (\hat{x}_k^n(i) + \hat{L}_{xk}^n(i), \hat{y}_k^n(i)), (\hat{x}_k^n(i) + \hat{L}_{xk}^n(i), \hat{y}_k^n(i) - \hat{L}_{yk}^n(i))$ и $(\hat{x}_k^n(i), \hat{y}_k^n(i) - \hat{L}_{yk}^n(i))$), после чего определяются значения ширины и высоты в требуемой нормальной СК.

Достоверность результатов пересчетов с помощью предложенной методики проверялась при помощи лабораторно-моделирующего комплекса [2], доработанного под задачи бортовой ОЛС.

Заключение

В настоящей статье представлена разработанная методика расчета разовых ошибок оценивания местоположения наблюдаемых объектов в прямоугольной СК по данным бортовой ОЛС. Представленная методика основывается на методе линеаризации, позволяющем заменить нелинейные преобразования на линейные в окрестности разовой оценки. Предлагаемая методика реализуется в четыре этапа и позволяет учесть: значения векторов состояния носителя ОЛС в связанной и нормальной СК и ошибки их измерений; вектора состояния угловых ориентаций ОЛС и ошибки их измерений; параметры ОЛС (ширина угла зрения, разрешение оптического изображения). Предлагаемая методика характеризуется низкой вычислительной сложностью, реализуема в режиме реального времени, характерного для бортовых систем, и применима при выполнении принятых допущений и ограничений. Полученные разовые ошибки измерения местоположения наблюдаемых объектов могут использоваться: при оценке влияния условий наблюдения на показатели качества внутрикадровой обработки; на этапе сопровождения траекторий в устройстве межкадровой обработки.

Список литературы

1. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / Б.А. Алпатов [и др.]. М: Радиотехника, 2008. 176 с.

2. Гуцев Р.А. Солонар А.С., Цуприк С.В. Лабораторно-моделирующий комплекс для исследования показателей качества работы оптико-локационной системы телевизионного типа // Докл. БГУИР. 2016. № 6 (100). С. 55–61.
3. Blackman, S., Popoli R. Design and analysis of modern tracking systems. Boston, London: Artech House, 1999. 1230 p.
4. Хмарский П.А., Солонар А.С. Влияние выбора моделей входного воздействия на точность измерений вектора состояния для фильтров Калмана // Докл. БГУИР. 2012. № 7 (69). С. 47–53.
5. Хмарский П.А., Солонар А.С. Влияние условий наблюдения на показатели качества дискретных фильтров Калмана при наблюдении прямоугольных координат // Приложение к журналу «Известия Национальной академии наук Беларуси», физико-технические науки. 2014. № 2. С. 102–109.
6. Хмарский П.А., Солонар А.С. Оценка влияния условий наблюдения на точность измерения дискретных фильтров Калмана при наблюдении объектов в полярных координатах методом Монте-Карло // Докл. БГУИР. 2014. № 7 (85). С. 71–77.

References

1. Metody avtomaticheskogo obnaruzhenija i soprovozhdenija ob'ektov. Obrabotka izobrazhenij i upravlenie / V.A. Alpatov [i dr.]. M: Radiotekhnika, 2008. 176 s. (in Russ.)
2. Gucev R.A. Solonar A.S., Cuprik S.V. Laboratorno-modelirujushij kompleks dlja issledovanija pokazatelej kachestva raboty optiko-lokacionnoj sistemy televizionnogo tipa // Dokl. BGUIR. 2016. № 6 (100). S. 55–61. (in Russ.)
3. Blackman, S., Popoli R. Design and analysis of modern tracking systems. Boston, London: Artech House, 1999. 1230 p.
4. Hmarskij P.A., Solonar A.S. Vlijanie vybora modelej vhodnogo vozdejstvija na tochnost' izmerenij vektora sostojanija dlja fil'trov Kalmana // Dokl. BGUIR. 2012. № 7 (69). S. 47–53. (in Russ.)
5. Hmarskij P.A., Solonar A.S. Vlijanie uslovij nabljudenija na pokazateli kachestva diskretnyh fil'trov Kalmana pri nabljudenii prjamougol'nyh koordinat // Prilozhenie k zhurnalnu «Izvestija Nacional'noj akademii nauk Belarusi», fiziko-tehnicheskie nauki. 2014. № 2. S. 102–109. (in Russ.)
6. Hmarskij P.A., Solonar A.S. Ocenka vlijanija uslovij nabljudenija na tochnost' izmerenija diskretnyh fil'trov Kalmana pri nabljudenii ob'ektov v poljarnyh koordinatah metodom Monte-Karlo // Dokl. BGUIR. 2014. № 7 (85). S. 71–77. (in Russ.)

Сведения об авторах

Солонар А.С., к.т.н., доцент, докторант Военной академии Республики Беларусь.

Хмарский П.А., к.т.н., доцент кафедры авиационных радиоэлектронных систем Военной академии Республики Беларусь.

Михалковский А.А., старший инженер кафедры радиолокации и приемо-передающих устройств Военной академии Республики Беларусь.

Цуприк С.В., адъюнкт кафедры радиолокации и приемо-передающих устройств Военной академии Республики Беларусь.

Information about the authors

Solonar A.S., PhD, assistant professor, postdoctoral student of Military academy of the Republic of Belarus.

Khmarski P.A., PhD, associate professor of the department aviation radio-electronic systems of Military Academy of Republic of Belarus.

Mihalkovski A.A., senior engineer of the department of radar-location and send-receive devices of Military academy of the Republic of Belarus.

Tsuprik S.V., PG student of the department of radar-location and send-receive devices of Military academy of the Republic of Belarus.

Адрес для корреспонденции

220057, Республика Беларусь,
г. Минск, пр-т Независимости, 220,
Военная академия Республики Беларусь
тел. +375-29-219-56-49;
e-mail: pierre2009@mail.ru
Хмарский Петр Александрович

Address for correspondence

220057, Republic of Belarus,
Minsk, Nezavisimosti ave., 220,
Military academy of the Republic of Belarus
tel. +375-29-219-56-49;
e-mail: pierre2009@mail.ru
Khmarski Petr Aleksandrovich