

**МОДЕЛЬ ДАЛЬНОМЕРНОГО КАНАЛА
АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ В РЕЖИМЕ ПОСАДКИ**

В. Н. Глистин, Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор С. Н. Данилов

Ключевые слова и фразы: автоматизированная система управления воздушным движением; воздушное судно; модель наблюдения; модель состояния.

Аннотация: Рассмотрен вопрос повышения эффективности автоматизированных систем управления воздушным движением на основании информации бортовых датчиков воздушного судна. Предложены и обоснованы математические модели состояния и наблюдения движения воздушного судна.

Имеющиеся и используемые на данный момент алгоритмы функционирования автоматизированных систем управления воздушным движением (АС УВД) не отвечают необходимой точности при заданном уровне безопасности движения воздушных судов. Применяемые модели движения воздушных судов не соответствуют их реальным моделям движения из-за неточного оценивания дальности D , скорости V и ускорения a .

Применяемая во вторичной обработке модель Зингера основана на предположении, что ускорение цели является статистической величиной [1, 2]:

$$\begin{aligned} D(k) &= D(k-1) + V(k-1)\tau + 0,5a(k-1)\tau^2; \\ V(k) &= V(k-1) + a(k-1)\tau; \\ a(k) &= (1 - \alpha\tau)a(k-1) + \xi_a(k-1), \end{aligned} \tag{1}$$

где τ , α – постоянные времени дискретизации и маневра соответственно; маневра; ξ_a – центрированные гауссовские шумы с известной дисперсией; k – номер дискрета времени.

Глистин Вадим Николаевич – аспирант кафедры «Радиотехника»; Панасюк Юрий Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Радиотехника», e-mail: ruupikol@gambler.ru; Пудовкин Анатолий Петрович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Радиотехника», ТамбГТУ, г. Тамбов.

Кроме того, в данной модели ускорение задается с учетом ансамбля всех возможных траекторий. Модель (1) не позволяет достаточно точно описать конкретный вид маневра [1]. Исправить данную проблему возможно синтезом радиоэлектронных следящих устройств АС УВД за траекторией перемещения цели с применением дополнительной информации бортовых датчиков [2].

Необходимую дополнительную информацию бортовых датчиков воздушного судна можно получить от дискретно-адресных систем передачи информации, где используется индивидуально-адресный запрос. Это позволит получить данные о кинематических характеристиках цели, что сделает возможным точно описать ускорение воздушного судна (цели) по формуле

$$\begin{aligned}
 a_{\text{ц}} = & V_{\text{ц}}(k) \left(\cos \theta_{\text{ц}}(k) \sin \varepsilon_{\text{в}}(k) \left(\omega_{\theta_{\text{ц}}}(k) - \omega_{\text{в}}(k) \cos(\varphi_{\text{ц}}(k) - \varepsilon_{\text{г}}(k)) \right) + \right. \\
 & + \sin \theta_{\text{ц}}(k) \cos \varepsilon_{\text{в}}(k) \left(\omega_{\text{в}}(k) - \omega_{\theta_{\text{ц}}}(k) \cos(\varphi_{\text{ц}}(k) - \varepsilon_{\text{г}}(k)) \right) + \\
 & \left. + \cos \theta_{\text{ц}}(k) \cos \varepsilon_{\text{в}}(k) \sin(\varphi_{\text{ц}}(k) - \varepsilon_{\text{г}}(k)) \left(\omega_{\text{г}}(k) - \omega_{\varphi_{\text{ц}}}(k) \right) \right), \quad (2)
 \end{aligned}$$

где $V_{\text{ц}}$ – скорость цели; $\theta_{\text{ц}}$ и $\omega_{\theta_{\text{ц}}}$ – угол наклона и скорость изменения угла наклона цели соответственно; $\varphi_{\text{ц}}$ и $\omega_{\varphi_{\text{ц}}}$ – путевой угол и скорость изменения путевого угла цели соответственно; $\varepsilon_{\text{в}}$, $\varepsilon_{\text{г}}$, $\omega_{\text{в}}$, $\omega_{\text{г}}$ – углы наклонов линий визирования и их скорости изменения в вертикальной и горизонтальной плоскостях соответственно [1].

Использование данной информации в целом позволяет точно описать движение воздушного судна.

Основываясь на данных, полученных от дискретно-адресных систем передачи информации, и используя сведения об ускорении (2) воздушного судна, можно записать модели состояния (3) и наблюдения (4) в дискретном времени:

$$\begin{aligned}
 D(k) &= D(k-1) + V(k-1)\tau + 0,5a(k-1)\tau^2; \\
 V(k) &= V(k-1) + a(k-1)\tau; \\
 a(k) &= V_{\text{ц}}(k) \left(\cos \theta(k) \sin \varepsilon_{\text{в}}(k) \left(\omega_{\theta}(k) - \omega_{\text{в}}(k) \cos(\varphi(k) - \varepsilon_{\text{г}}(k)) \right) + \right. \\
 & + \sin \theta(k) \cos \varepsilon_{\text{в}}(k) \left(\omega_{\text{в}}(k) - \omega_{\theta}(k) \cos(\varphi(k) - \varepsilon_{\text{г}}(k)) \right) + \\
 & \left. + \cos \theta(k) \cos \varepsilon_{\text{в}}(k) \sin(\varphi(k) - \varepsilon_{\text{г}}(k)) \left(\omega_{\text{г}}(k) - \omega_{\varphi}(k) \right) \right) + \xi_a(k); \\
 V_{\text{ц}}(k+1) &= V_{\text{ц}}(k) + a_{\text{ц}}(k)\tau; \\
 a_{\text{ц}}(k+1) &= (1 - \alpha\tau) a_{\text{ц}}(k) + \xi_{a_{\text{ц}}}(k); \\
 \theta_{\text{ц}}(k+1) &= \theta_{\text{ц}}(k) + \omega_{\theta_{\text{ц}}}(k)\tau;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\omega_{\theta_{\Pi}}(k+1) &= (1-\alpha\tau)\omega_{\theta_{\Pi}}(k) + \xi_{\omega_{\theta_{\Pi}}}(k); \\
\varphi_{\Pi}(k+1) &= \varphi_{\Pi}(k) + \omega_{\varphi_{\Pi}}(k)\tau; \\
\omega_{\varphi_{\Pi}}(k+1) &= (1-\alpha\tau)\omega_{\varphi_{\Pi}}(k) + \xi_{\omega_{\varphi_{\Pi}}}(k); \\
\varepsilon_{\text{В}}(k+1) &= \varepsilon_{\text{В}}(k) + \omega_{\text{В}}(k)\tau; \\
\omega_{\text{В}}(k+1) &= (1-\alpha\tau)\omega_{\text{В}}(k) + \xi_{\omega_{\text{В}}}(k); \\
\varepsilon_{\text{Г}}(k+1) &= \varepsilon_{\text{Г}}(k) + \omega_{\text{Г}}(k)\tau; \\
\omega_{\text{Г}}(k+1) &= (1-\alpha\tau)\omega_{\text{Г}}(k) + \xi_{\omega_{\text{Г}}}(k);
\end{aligned}
\tag{3}$$

$$\begin{aligned}
D_{\text{И}}(k) &= D(k) + \xi_{D_{\text{И}}}(k); \\
V_{\text{ИИ}}(k) &= V_{\text{И}}(k) + \xi_{V_{\text{ИИ}}}(k); \\
\theta_{\text{ИИ}}(k) &= \theta_{\text{И}}(k) + \xi_{\theta_{\text{ИИ}}}(k); \\
\varphi_{\text{ИИ}}(k) &= \varphi_{\text{И}}(k) + \xi_{\varphi_{\text{ИИ}}}(k); \\
\varepsilon_{\text{ВИ}}(k) &= \varepsilon_{\text{В}}(k) + \xi_{\varepsilon_{\text{ВИ}}}(k); \\
\varepsilon_{\text{ГИ}}(k) &= \varepsilon_{\text{Г}}(k) + \xi_{\varepsilon_{\text{ГИ}}}(k),
\end{aligned}
\tag{4}$$

где $\xi_a, \xi_{a_{\Pi}}, \xi_{\omega_{\theta_{\Pi}}}, \xi_{\omega_{\varphi_{\Pi}}}, \xi_{\omega_{\text{В}}}, \xi_{\omega_{\text{Г}}}$ – центрированные гауссовские шумы с известными дисперсиями; $\xi_{D_{\text{И}}}, \xi_{V_{\text{ИИ}}}, \xi_{\theta_{\text{ИИ}}}, \xi_{\varphi_{\text{ИИ}}}, \xi_{\varepsilon_{\text{ВИ}}}, \xi_{\varepsilon_{\text{ГИ}}}$ – центрированные дискретные гауссовские шумы измерений с известными дисперсиями [1].

Получившиеся модели состояния и наблюдения позволяют точно описать траекторию движения воздушного судна. Однако, проанализировав модель состояния (3), можно сделать вывод, что некоторые его компоненты слабо коррелированы. Следовательно, для уменьшения громоздкости выражения для нескольких групп уравнений модели (3) можно на основе измерений составить независимые оценки, в результате чего будут получены следующие системы моделей состояния (3) и наблюдения (4) по оценкам:

– дальности, скорости и ускорения:

$$\begin{aligned}
D(k) &= D(k-1) + V(k-1)\tau + 0,5a(k-1)\tau^2; \\
V(k) &= V(k-1) + a(k-1)\tau; \\
a(k) &= (1-\alpha_{\text{д}}\tau)a(k) + \xi_{a_{\text{д}}}(k);
\end{aligned}
\tag{5}$$

$$\begin{aligned}
D_{\text{И}}(k) &= D(k) + \xi_{D_{\text{И}}}(k); \\
a_{\text{ВИ}}(k) &= a_{\text{В}}(k) + \xi_{a_{\text{В}}}(k);
\end{aligned}
\tag{6}$$

– скорости и ускорения цели:

$$\begin{aligned}
V_{\text{И}}(k+1) &= V_{\text{И}}(k) + a_{\text{И}}(k)\tau; \\
a_{\text{И}}(k+1) &= (1-\alpha_{\text{V}}\tau)a_{\text{И}}(k) + \xi_{a_{\text{И}}}(k);
\end{aligned}
\tag{7}$$

$$V_{\text{ИИ}}(k) = V_{\text{И}}(k) + \xi_{V_{\text{ИИ}}}(k);
\tag{8}$$

– угла наклона цели и его скорости изменения:

$$\begin{aligned}\theta_{\Pi}(k+1) &= \theta_{\Pi}(k) + \omega_{\theta_{\Pi}}(k)\tau; \\ \omega_{\theta_{\Pi}}(k+1) &= (1 - \alpha_{\theta}\tau)\omega_{\theta_{\Pi}}(k) + \xi_{\omega_{\theta_{\Pi}}}(k); \end{aligned} \quad (9)$$

$$\theta_{\Pi\Pi}(k) = \theta_{\Pi}(k) + \xi_{\theta_{\Pi\Pi}}(k); \quad (10)$$

– путевого угла цели и его угловой скорости:

$$\begin{aligned}\varphi_{\Pi}(k+1) &= \varphi_{\Pi}(k) + \omega_{\varphi_{\Pi}}(k)\tau; \\ \omega_{\varphi_{\Pi}}(k+1) &= (1 - \alpha_{\varphi}\tau)\omega_{\varphi_{\Pi}}(k) + \xi_{\omega_{\varphi_{\Pi}}}(k); \end{aligned} \quad (11)$$

$$\varphi_{\Pi\Pi}(k) = \varphi_{\Pi}(k) + \xi_{\varphi_{\Pi\Pi}}(k); \quad (12)$$

– угла наклона линии визирования и его скорости изменения в вертикальной плоскости:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\text{В}}(k+1) &= \varepsilon_{\text{В}}(k) + \omega_{\varepsilon_{\text{В}}}(k)\tau; \\ \omega_{\varepsilon_{\text{В}}}(k+1) &= (1 - \alpha_{\text{В}}\tau)\omega_{\varepsilon_{\text{В}}}(k) + \xi_{\omega_{\varepsilon_{\text{В}}}}(k); \end{aligned} \quad (13)$$

$$\varepsilon_{\text{В}\Pi}(k) = \varepsilon_{\text{В}}(k) + \xi_{\varepsilon_{\text{В}\Pi}}(k); \quad (14)$$

– угла наклона линии визирования и его скорости изменения в горизонтальной плоскости:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\text{Г}}(k+1) &= \varepsilon_{\text{Г}}(k) + \omega_{\varepsilon_{\text{Г}}}(k)\tau; \\ \omega_{\varepsilon_{\text{Г}}}(k+1) &= (1 - \alpha_{\text{Г}}\tau)\omega_{\varepsilon_{\text{Г}}}(k) + \xi_{\omega_{\varepsilon_{\text{Г}}}}(k); \end{aligned} \quad (15)$$

$$\varepsilon_{\text{Г}\Pi}(k) = \varepsilon_{\text{Г}}(k) + \xi_{\varepsilon_{\text{Г}\Pi}}(k). \quad (16)$$

Получившиеся в итоге группы моделей состояния (5), (7), (9), (11), (13), (15) и наблюдения (6), (8), (10), (12), (14), (16) позволяют сохранить изначальную точность моделей (3) и (4) и упрощают исходный вид систем уравнений, уменьшая вычислительные затраты, что подтверждается проведенным моделированием [4].

Список литературы

1. Лобачев, Ю. В. Обработка радиолокационной информации в системах управления полетами / Ю. В. Лобачев, Ю. Н. Панасюк, Б. П. Комягин. – Тамбов : ТВВАИУ, 2008. – 152 с.
2. Данилов, С. Н. Алгоритм оценки и прогноза координат воздушных объектов для обеспечения функционирования системы направленной связи с использованием данных о пространственной ориентации / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2009. – Т. 15, № 4. – С. 767 – 777.
3. Жилкин, В. М. Калмановская фильтрация в задачах управления и контроля результативности процесса подготовки растительного материала к обезвоживанию / В. М. Жилкин, А. Н. Грибков, Ю. Л. Муромцев // Вопр. соврем. науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского. – 2009. – № 4(18). – С. 196 – 204.

4. Глистин, В. Н. Исследование алгоритмов радиолокационного дальномера наземной РЛС / В. Н. Глистин, Ю. Н. Панасюк // Тезисы докладов Международной конференции с элементами научной школы «Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах», г. Тамбов, 23 – 25 апр. 2014 г. / ФГБОУ ВПО «Тамб. гос. техн. ун-т». – Тамбов, 2014. – С. 22–23.

References

1. Lobachev U.V., Panasuk U.N., Komiagin B.P. *Obrabotka radiolokacionnoi informacii v sistemah upravlenii poletami* (Processing of the radar-tracking information in control systems of flights), Tambov: TVVAIU, 2008, 152 p.
2. Danilov S.N., Pudovkin A.P. *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2009, vol. 15, no. 4(18), pp. 767-777.
3. Jilkin V.M., Gribkov A.N., Muromcev U.L. *Voprosi sovremennoi nauki i praktiki. Universitet imeni V.I. Vernadskogo*, 2009, no. 4(18), pp. 196-204.
4. Glistin V.N., Panasuk U.N. *Tezisy докладов Mezhdunarodnoi konferentsii s elementami nauchnoi shkoly "Aktual'nye problemy energosberejenia i energoeffektivnosti v tehniceskikh sistemah"*, 23-25 apr. 2014 g. (Abstracts of the International Conference with the elements of the scientific school "Actual problems of power savings and power efficiency in technical systems", 23-25 April 2014), Tambov, 2014, pp. 22-23.

Model of Rangefinder Channel of Automatic Air Traffic Control System in Landing Mode

V. N. Glistin, Yu. N. Panasyuk, A. P. Pudovkin

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: aircraft; automatic air traffic control system; condition model; supervision model.

Abstract: The paper raises the question of improving the efficiency of automated air traffic control systems based on the information board sensors of the aircraft. Mathematical models of condition and supervision of air traffic have been offered and validated.

© В. Н. Глистин, Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, 2014