

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗДУШНОГО СУДНА В ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ*

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

*Кафедра «Радиотехника», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия;
ryunikol@rambler.ru*

Ключевые слова: воздушные суда; дальномерный канал; информационно-измерительные системы; модель; оптимальная фильтрация.

Аннотация: Разработан алгоритм функционирования дальномерного канала информационно-измерительной системы с учетом динамических характеристик воздушных судов. Обоснован выбор моделей состояния и наблюдения. Проведено имитационное моделирование на ЭВМ. Представлены результаты исследования алгоритма функционирования информационно-измерительной системы.

Введение

Одним из эффективных методов повышения точности измерения координат воздушных судов (ВС) в информационно-измерительных системах (ИИС) является использование дополнительной информации от ВС, поступающей как от радиолокационных, так и нерадиолокационных измерителей. В качестве дополнительной информации могут быть использованы различные параметры и характеристики ВС [1].

В настоящее время разработаны различные методы вторичной обработки информации, применяющие кинематические характеристики полета ВС, например, информацию о пространственном положении ВС – путевой угол, угол наклона, азимут, угол места, а также линейную скорость ВС. Общим недостатком методов, основанных на использовании кинематических характеристик ВС, является увеличение динамических ошибок вследствие несоответствия моделей состояния, которые положены в их основу реальной динамике процессов ИИС.

Цель работы. Синтез алгоритма функционирования дальномерного канала информационно-измерительных систем с учетом динамики движения воздушных судов.

Для улучшения точностных характеристик ИИС целесообразно в качестве дополнительной информации использовать не только кинематические, но и динамические характеристики ВС, а именно, испытываемые им перегрузки [2, 3], которые (в сочетании с информацией о пространственном положении ВС) могут быть использованы для вычисления ускорения сближения следующим образом (рис. 1)

$$A = g(n_x \sin \varepsilon_B \sin \theta + n_x \cos \varepsilon_B \cos \theta \cos(\varepsilon_h - \varphi) + n_y \sin \varepsilon_T \sin \gamma_V \cos \varepsilon_B + n_y \sin \varepsilon_B \cos \gamma_V \cos \theta - n_y \sin \theta \cos \varepsilon_T \cos \varepsilon_V \cos \gamma_V + n_z \sin \varepsilon_B \sin \gamma_V + n_z \sin(\varepsilon_T - \varphi) \cos \varepsilon_B \cos \gamma_V), \quad (1)$$

* По материалам доклада на конференции «Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах», г. Тамбов, 25 – 27 апреля 2016 г.

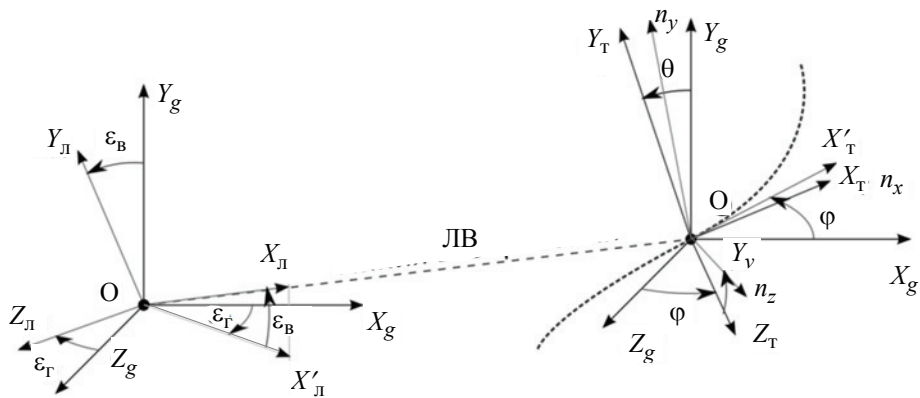


Рис. 1. Связь между системами координат, необходимыми для определения ускорения сближения

где A , g – ускорения сближения и свободного падения соответственно; n_x , n_y , n_z – продольная, нормальная и боковая перегрузки соответственно; θ , φ – углы наклона и поворота траектории соответственно; γ_v – угол скоростного крена; ε_Γ – азимут; ε_B – угол места.

С учетом выражения (1) используются следующие векторы состояния \mathbf{x} и наблюдения \mathbf{z}

$$\mathbf{x} = \left[D \quad V \quad A \quad n_x \quad n_y \quad n_z \quad \theta \quad \varphi \quad \omega_\theta \quad \omega_\varphi \quad \omega_\Gamma \quad \omega_B \quad \varepsilon_B \quad \omega_B \right]^T; \quad (2)$$

$$\mathbf{z} = \left[D_{\text{и}} \quad n_{\text{хи}} \quad n_{\text{yi}} \quad n_{\text{зи}} \quad \theta_{\text{и}} \quad \varphi_{\text{и}} \quad \varepsilon_{\text{ви}} \quad \varepsilon_{\text{ги}} \right]^T, \quad (3)$$

где D , V – дальность и скорость ВС по линии визирования соответственно; ω_θ , ω_φ , ω_Γ , ω_B – скорости изменения углов наклона и поворота траектории, азимута и угла места соответственно. В выражении (3) и далее переменные с индексом «и» – измеренные значения соответствующих величин.

Проведем декомпозицию векторов состояния и наблюдения, тогда модель основного фильтра (фильтра дальности) дальномерного канала будет иметь вид

$$D(k+1) = D_o(k) + V_o(k)T + 0,5A_o(k)T^2; \quad (4)$$

$$V(k+1) = V_o(k) + A_o(k)\tau T \quad (5)$$

$$\begin{aligned} A(k+1) = & g(n_x(k) \sin \varepsilon_B(k) \sin \theta(k) + n_x(k) \cos \varepsilon_B(k) \cos \theta(k) \cos(\varepsilon_\Gamma(k) - \varphi(k)) + \\ & + n_y(k) \sin \varepsilon_\Gamma(k) \sin \gamma_v(k) \cos \varepsilon_B + n_y(k) \sin \varepsilon_B(k) \cos \gamma_v(k) \cos \theta(k) - \\ & - n_y(k) \sin \theta(k) \cos \varepsilon_\Gamma(k) \cos \varepsilon_B(k) \cos \gamma_v(k) + n_z(k) \sin \varepsilon_B(k) \sin \gamma_v(k) + \\ & + n_z(k) \sin \varepsilon_\Gamma(k) \cos \varepsilon_B(k) \cos \gamma_v(k) + \xi_{A}; \end{aligned} \quad (6)$$

$$D_{\text{и}}(k+1) = D(k+1) + \xi_D, \quad (7)$$

где k – номер дискреты времени; T – период дискретизации; ξ_A , ξ_D – дискретные белые шумы с нулевым математическим ожиданием и известной дисперсией; в выражениях (4), (5) и далее переменные с индексом «о» – оцененные значения соответствующих величин.

Модели остальных фильтров, входящих в декомпозированный по оценке дальности, имеют вид обыкновенных фильтров, построенных на основе модели Зингера [1].

Учитывая модели состояния (4) – (6) и наблюдения (7), содержащие информацию о динамических характеристиках ВС, и выражения линейной фильтрации [1, 4, 5], получим алгоритм фильтрации дальномерного канала:

$$\begin{aligned}
 D_o(k+1) &= D_o(k) + K_{d11}(k+1)\Delta D(k+1); \\
 V_o(k+1) &= V_o(k) + K_{d21}(k+1)\Delta D(k+1); \\
 A_o(k+1) &= A_o(k) + K_{d31}(k+1)\Delta D(k+1); \\
 D_o(k+1) &= D_o(k) + V_o(k)T + 0,5A_o(k)T^2; \\
 V_o(k+1) &= V_o(k) + A_o(k)T; \\
 A_o(k+1) &= g(n_x(k)\sin\varepsilon_B(k)\sin\theta(k) + n_x(k)\cos\varepsilon_B(k)\cos\theta(k)\cos(\varepsilon_\Gamma(k) - \varphi(k)) + \\
 &\quad + n_y(k)\sin\varepsilon_\Gamma(k)\sin\gamma_v(k)\cos\varepsilon_B + n_y(k)\sin\varepsilon_B(k)\cos\gamma_v(k)\cos\theta(k) - \\
 &\quad - n_y(k)\sin\theta(k)\cos\varepsilon_\Gamma(k)\cos\varepsilon_B(k)\cos\gamma_v(k) + n_z(k)\sin\varepsilon_B(k)\sin\gamma_v(k) + \\
 &\quad + n_z(k)\sin\varepsilon_\Gamma(k)\cos(\varepsilon_\Gamma(k) - \varphi(k))\cos\varepsilon_B(k)\cos\gamma_v(k)); \\
 \Delta D(k+1) &= D_H(k+1) - D_o(k+1); \\
 \theta_o(k+1) &= \theta_o(k) + K_{\theta11}(k+1)\Delta\theta(k+1); \\
 \omega_{\theta o}(k+1) &= \omega_{\theta o}(k) + K_{\theta21}(k+1)\Delta\theta(k+1); \\
 \theta_o(k+1) &= \theta_o(k) + \omega_{\theta o}(k)T; \\
 \omega_{\theta o}(k+1) &= (1 - \alpha\tau)\omega_{\theta o}(k); \\
 \Delta\theta(k+1) &= \theta_H(k+1) - \theta_o(k+1); \\
 \varphi_o(k+1) &= \varphi_o(k) + K_{\varphi11}(k+1)\Delta\varphi(k+1); \\
 \omega_{\varphi o}(k+1) &= \omega_{\varphi o}(k) + K_{\varphi21}(k+1)\Delta\varphi(k+1); \\
 \varphi_o(k+1) &= \varphi_o(k) + \omega_{\varphi o}(k)T; \\
 \omega_{\varphi o}(k+1) &= (1 - \alpha T)\omega_{\varphi o}(k); \\
 \Delta\varphi(k+1) &= \varphi_H(k+1) - \varphi_o(k+1); \\
 \varepsilon_{Bo}(k+1) &= \varepsilon_{B3}(k+1) + K_{\varepsilon_{B11}}(k+1)\Delta\varepsilon_B(k+1); \\
 \omega_{\varepsilon_{Bo}}(k+1) &= \omega_{\varepsilon_{B3}}(k+1) + K_{\varepsilon_{B21}}(k+1)\Delta\varepsilon_B(k+1); \\
 \varepsilon_{B3}(k+1) &= \varepsilon_{Bo}(k) + \omega_{Bo}(k)T; \\
 \omega_{\varepsilon_{B3}}(k+1) &= (1 - \alpha T)\omega_{Bo}(k); \\
 \Delta\varepsilon_B(k+1) &= \varepsilon_{BH}(k+1) - \varepsilon_{B3}(k+1); \\
 \varepsilon_{\Gamma o}(k+1) &= \varepsilon_{\Gamma3}(k+1) + K_{\varepsilon_{\Gamma11}}(k+1)\Delta\varepsilon_\Gamma(k+1); \\
 \omega_{\varepsilon_{\Gamma o}}(k+1) &= \omega_{\varepsilon_{\Gamma3}}(k+1) + K_{\varepsilon_{\Gamma21}}(k+1)\Delta\varepsilon_\Gamma(k+1); \\
 \varepsilon_{\Gamma3}(k+1) &= \varepsilon_{\Gamma o}(k) + \omega_{\Gamma o}(k)T; \\
 \omega_{\varepsilon_{\Gamma3}}(k+1) &= (1 - \alpha T)\omega_{\Gamma o}(k); \\
 \Delta\varepsilon_\Gamma(k+1) &= \varepsilon_{\Gamma H}(k+1) - \varepsilon_{\Gamma3}(k+1),
 \end{aligned}$$

где K – коэффициент усиления; переменные с индексом «э» – экстраполированные значения соответствующих величин; α – постоянная маневра.

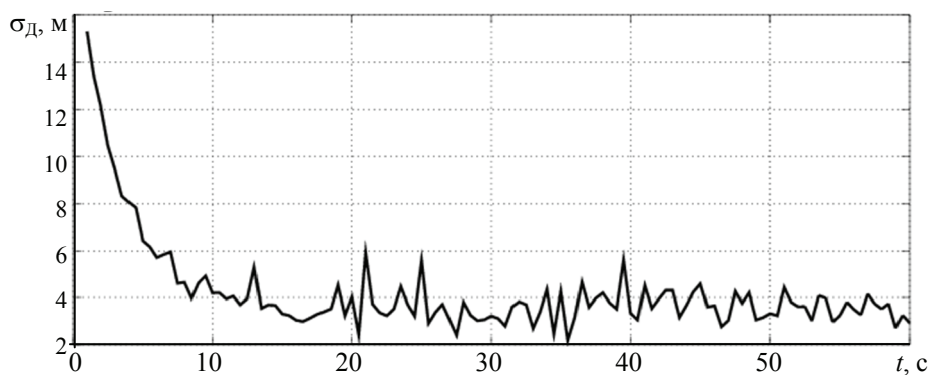


Рис. 2. Зависимость среднеквадратической ошибки измерения дальности σ_D от времени

Методом имитационного моделирования на ЭВМ дальномерного устройства, следящего за ВС, выполняющего фрагмент маневра «малая коробочка» [1], проводилась оценка точностных характеристик предложенного алгоритма.

Результаты имитационного моделирования (значение среднеквадратической ошибки дальности как функции времени) представлены на рис. 2.

Заключение

Из результатов моделирования видно, что применение динамических характеристик в значительной степени повышает точность оценки дальности (по сравнению с дальномерными каналами, где данная информация отсутствует). Это объясняется более точной экстраполяцией ускорения воздушной цели по линии визирования. Повышение точности дальномерных каналов позволяет повысить пропускную способность ВС при заданном уровне безопасности.

Список литературы

1. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
2. Чернышова, Т. И. Математическое моделирование при анализе метрологической надежности аналоговых блоков информационно-измерительных систем / Т. И. Чернышова, В. В. Третьяков // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2014. – Т. 20, № 1. – С. 42 – 49.
3. Чернышова, Т. И. Применение математического моделирования при реализации методов оценки и повышения метрологического ресурса аналоговых блоков информационно-измерительных систем / Т. И. Чернышова, В. В. Третьяков // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2015. – Т. 21. – № 3. – С. 381 – 387. doi: 10.17277/vestnik.2015.03.pp.381-387
4. Данилов, С. Н. Алгоритм сопровождения с реконfigurацией модели / С. Н. Данилов, Р. А. Ефремов, Н. А. Кольтюков // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2015. – Т. 21, № 3. – С. 418 – 423. doi: 10.17277/vestnik.2015.03.pp.418-423
5. Точностные характеристики навигационных комплексов, использующих контроль целостности спутниковых радионавигационных систем для реконfigurации / А. В. Иванов [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2015. – № 4. – С. 572 – 577. doi: 10.17277/vestnik.2015.04.pp.572-577

Synthesis of Electronic Tracking Systems Considering Aircraft Movement Dynamics

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

*Department "Radiotekhnika", TSTU, Tambov, Russia;
pyunikol@rambler.ru*

Keywords: aircraft; information-measuring systems; model; optimal filtration; rangefinder channel.

Abstract: The paper describes the ranging channel algorithm of information measurement system, using the dynamic characteristics of the aircraft. The authors justify the choice of state models based on kinematic and dynamic characteristics of the flying aircraft (AC), and observation models given the radiolocation information from ground radar stations and non-radar information from the on-board measuring instruments. A distance-measuring device is modelled on a computer, tracking the AC performing a fragment of a "small box" maneuver. The results of the study of the algorithm of information-measuring system are given.

References

1. Pudovkin A.P., Danilov S.N., Panasyuk Yu.N. *Perspektivnye metody obrabotki informatsii v radiotekhnicheskikh sistemakh* [Perspective methods of information processing in radio engineering systems], St. Petersburg: Ekspertnye resheniya, 2014, 256 p. (In Russ.)
2. Chernyshova T.I., Tretyakov V. V. [Mathematical Modeling in the Analysis of Metrological Reliability of Analog Parts of Information-Measuring Systems], *Transactions of Tambov State Technical University*, 2014, vol. 20, no. 1, pp. 42-49. (In Russ., Abstract in Eng.)
3. Chernyshova T.I., Tretyakov V.V. [Application of Mathematical Modeling for Evaluation Methods and Improvement of Metrological Resource of Analog Units of Data-Measuring Systems], *Transactions of Tambov State Technical University*, 2015, vol. 21, no. 3, pp. 381-387. doi: 10.17277/vestnik.2015.03.pp.381-387 (In Russ., Abstract in Eng.)
4. Danilov S.N., Efremov R.A., Kolyukov N.A. [Model Reconfiguration Tracking Algorithm], *Transactions of Tambov State Technical University*, 2015, vol. 21, no. 3, pp. 418-423. doi: 10.17277/vestnik.2015.03.pp.418-423 (In Russ., Abstract in Eng.)
5. Ivanov A.V., Komrakov D.V., Moskvitin S.P., Chernyshov V.N. [Accuracy Characteristics of Navigation Systems Using Continuity Testing of Satellite Navigation Systems for Solving Problems of Reconfiguration], *Transactions of Tambov State Technical University*, 2015, vol. 21, no. 4, pp. 572-577. doi: 10.17277/vestnik.2015.04.pp.572-577 (In Russ., Abstract in Eng.)

Benutzung der dynamischen Charakteristiken des Luftfahrzeuges in den Informationsmesssystemen

Zusammenfassung: Es ist der Algorithmus des Funktionierens des Distanzkanals des Informationsmesssystems unter Berücksichtigung der dynamischen Charakteristiken der Luftfahrzeuge entwickelt. Es ist die Auswahl der Modelle des Zustandes und

der Beobachtung rechtfertigt, es ist die Imitationsmodellierung auf dem Computer durchgeführt und es sind die Ergebnisse der Forschung des Algorithmus des Funktionierens des Informationssystemes dargelegt.

Utilisation des caractéristiques dynamiques de l'aéronef dans les systèmes informatiques de mesure

Résumé: Est conçu l'algorithme du fonctionnement du canal de longue distance du système informatique de mesure compte tenu des caractéristiques dynamiques de l'aéronef. Est justifié le choix des modèles de l'état compte tenu des caractéristiques cinématiques et dynamiques du vol des aéronefs et des modèles de la surveillance tenant compte de l'information radar à partir des stations terrestres et l'information non radar à partir des organes de mesure embarqués. Est faite la simulation sur ordinateur de l'appareil de longue distance surveillant l'aéronef et sont présentés les résultats de la recherche de l'algorithme du fonctionnement du système informatique de mesure.

Авторы: *Панасюк Юрий Николаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Радиотехника»; *Пудовкин Анатолий Петрович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Радиотехника»; *Князев Иван Владимирович* – аспирант кафедры «Радиотехника»; *Глистин Вадим Николаевич* – аспирант кафедры «Радиотехника», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Данилов Станислав Николаевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Радиотехника», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.
