

АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УГЛОМЕРНОГО КАНАЛА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ С УЧЕТОМ ИНФОРМАЦИИ БОРТОВЫХ ДАТЧИКОВ

В.Н. Глистин¹, Л.Г. Варепо², Ю.Н. Панасюк¹, А.П. Пудовкин¹, М.П. Беляев³, С.Н. Данилов¹, П.С. Беляев¹

¹ Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

² Омский государственный технический университет, г. Омск

³ Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж

Рассмотрен вопрос повышения эффективности информационно-измерительной системы управления воздушным движением на примере синтеза алгоритмов функционирования угломерного канала при сопровождении воздушного судна с учетом информации его бортовых датчиков (кинематические и динамические параметры), которая позволяет более точно описать модель движения воздушного судна относительно ИИС УВД, по сравнению с существующими моделями. Это приводит к улучшению точностных характеристик угломерного канала. Точностные характеристики ИИС влияют на пропускную способность и безопасность управления воздушным движением. Обосновывается выбор моделей состояния и наблюдения, разработан алгоритм функционирования угломерного канала, проведено имитационное моделирование на ЭВМ и получены результаты исследованных алгоритмов. Результаты исследованных алгоритмов могут быть использованы при проектировании и разработке перспективных информационно-измерительных систем управления воздушным движением.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, алгоритм угломерного канала по азимуту, имитационное моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема точности, устойчивости, помехозащищенности информационно-измерительных систем (ИИС) управления воздушным движением (УВД) зависит от маневров воздушных судов в зоне полетов аэродрома [1 - 4]. При таких маневрах воздушных судов (как вираж, разворот и т.д.) существующие калмановские следящие [2, 8] фильтры угломерных каналов в ИИС УВД склонны к расходимости, когда резко увеличиваются ошибки оценки азимута (угла места), так как при таких маневрах кинематические параметры воздушных судов: углы и угловые скорости азимута (угла места) имеют сложные зависимости от времени [5 - 7].

В настоящее время в современных ИИС УВД модель состояния угломерного канала базируется на основе гипотезы движения воздушных судов с постоянной скоростью или с постоянным ускорением. Исследования показывают [2, 10], что при маневрах (вираж, разворот и т.д.) возникают большие ошибки оценки азимута (угла места), которые не соответствуют современным требованиям к системам УВД по обеспечению увеличения количества полетов воздушных судов, взятых под управление руководителями полетов, при заданном уровне безопасности полетов.

Для уменьшения ошибок оценки азимута (угла места) предлагается синтез ИИС УВД по оценке

траектории движения воздушного судна с использованием информации о его динамических и кинематических характеристиках.

Информацию о динамических и кинематических характеристиках воздушного судна можно получать с помощью авиационной системы электросвязи (дискретно-адресная система передачи информации, где используется индивидуально-адресный запрос) в районе аэродрома, позволяющей передавать информацию от бортовых датчиков, которые характеризуют параметры полета воздушного судна [2, 7]. Эта информация позволит более точно выбрать модель системы угломерного канала, при этом в модели системы будут использоваться кинематические и динамические характеристики движения воздушного судна, которые характеризуют их маневренность. В существующих ИИС УВД имеется возможность передавать информацию о высоте полета, бортовом номере и других параметров воздушных судов от бортовых датчиков [2, 10].

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМЫ

Часто при разработке алгоритмов радиоэлектронных следящих устройств ИИС используется зингеровская модель состояния, где ускорение моделируется с помощью стационарного процесса применительно к ансамблю всех возможных траекторий воздушных судов [2, 11 - 13].

Зингеровская модель системы угломерного канала по азимуту имеет следующий вид:

модель состояния

$$\varepsilon_a(k) = \varepsilon_a(k-1) + \omega_{\varepsilon_a}(k-1)T + 0,5a_{\varepsilon_a}(k-1)T^2; \quad (1)$$

$$\omega_{\varepsilon_a}(k) = \omega_{\varepsilon_a}(k-1) + a_{\varepsilon_a}(k-1)T; \quad (2)$$

$$a_{\varepsilon_a}(k) = (1 - \alpha_a T)a_{\varepsilon_a}(k-1) + \xi_a(k-1); \quad (3)$$

модель наблюдения

$$\varepsilon_{ai}(k) = \varepsilon_a(k) + \xi_{ai}(k). \quad (4)$$

В выражениях (1) – (4): α_a – постоянная времени маневра; ξ_a – статистический белый шум, который характеризуется дисперсией R_a ; T – интервал дискретизации; k – номер дискрета времени; ξ_{ai} – дискретный центрированный белый шум измерений азимута с известной дисперсией R_{ai} .

Если в модели системы (1) – (4) ускорение задается с учетом постоянной времени маневра, которая характеризует различные траектории движения воздушного судна, то формирующий фильтр является оптимальным для различных траекторий и не будет оптимальным по сопровождению полета конкретного воздушного судна. Результаты исследований зингеровской модели показали [2, 14, 15], что при данной модели приемлемые оценки по азимуту ε_a , угловой скорости ω_{ε_a} и угловому ускорению a_{ε_a} имеют место, если воздушное судно движется относительно ИИС УВД с постоянной скоростью или с постоянным ускорением. При маневрах воздушного судна средняя квадратическая ошибка оценки по азимуту для модели (1) и (2) увеличиваются в 3...4 раза, что является недопустимым в ИИС УВД.

При маневрировании воздушного судна фазовые координаты ИИС имеют нелинейный характер, поскольку траектория состоит из участков, где угловое ускорение по азимуту меняется в зависимости от вида и этапа маневра [2, 16, 17]. Зингеровская модель имеет статистический характер, поэтому точно описать закон изменения углового ускорения при маневре воздушного судна затруднено. Для получения улучшенных точностных характеристик угломерного канала ИИС УВД необходимо и достаточно точно описать ускорение воздушного судна при маневрировании [2, 6, 17]. Маневры воздушных судов, характеризуются изменением их кинематических (θ и φ – углы траектории движения воздушного судна в вертикальной и горизонтальной плоскостях; γ_v – скоростной угол крена) и динамических (n_x – продольная перегрузка, n_y – нормальная перегрузка, n_z – боковая перегрузка) характеристик. Эта

информация может использоваться для создания модели угломерного канала по азимуту для определения азимута воздушного судна относительно ИИС УВД. В этом случае модель системы угломерного канала по азимуту с учетом кинематических и динамических характеристик воздушного судна представлена в виде:

модель состояния

$$\varepsilon_a(k+1) = \varepsilon_a(k) + \omega_{\varepsilon_a}(k)T + 0,5a_{\varepsilon_a}(k)T^2; \quad (5)$$

$$\omega_{\varepsilon_a}(k+1) = \omega_{\varepsilon_a}(k) + a_{\varepsilon_a}(k)T; \dots \quad (6)$$

$$a_{\varepsilon_a}(k+1) = a_{\varepsilon_a}(k) + \xi_a(k); \quad (7)$$

модель наблюдения

$$\varepsilon_{ai}(k+1) = \varepsilon_a(k+1) + \xi_{\varepsilon_{ai}}(k+1); \quad (8)$$

$$a_{\varepsilon_{ai}}(k+1) = \arctg \left(\frac{((g((\sin \varphi(k) \sin \theta(k) - \cos \varphi(k) \sin \theta(k)) \times (n_y(k) \cos \gamma_v(k) - n_z(k) \sin \gamma_v(k)) + n_x(k) \cos \theta(k) \times (\cos \varphi(k) - \sin \varphi(k)) + (\sin \varphi(k) + \cos \varphi(k)) \times (n_y(k) \sin \gamma_v(k) + n_z(k) \cos \gamma_v(k))))^2 - (a_{iv}(k) \cos \varepsilon_a(k))^2)^{0,5}}{D(k) \cos \varepsilon_a(k)} \right) + \xi_{ai}(k). \quad (9)$$

В уравнениях (5) – (9): ξ_{ai} – дискретный центрированный гауссовский шум измерений ускорения с известной дисперсией R_{ai} ; g – ускорение свободного падения; D – дальность до воздушного судна по линии визирования, определяемое РЛС ИИС; θ , φ – углы наклона и поворота траектории воздушного судна; ε_a – угол места; a_{iv} – ускорение воздушного судна по линии визирования, определяемое в дальноммерном канале РЛС.

В модели наблюдения соотношение (9) получено авторами по методике [2, 16, 18].

АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ АЗИМУТА

Для разработки алгоритма функционирования устройства измерения азимута, где используется калмановская фильтрация, необходимо знать модели состояния и наблюдения угломерного канала азимута и их статистические характеристики.

Используя алгоритм калмановского фильтра [2, 19 – 22] и уравнения модели состояния (5) – (7) и модели наблюдения (8) и (9), получим алгоритм функционирования угломерного канала по азимуту для оценки фазовых координат по азимуту ε_{aes} , угловой скорости $\omega_{\varepsilon_{aes}}$ и угловому ускорению $a_{\varepsilon_{aes}}$ по азимуту:

$$\varepsilon_{aes}(k+1) = \varepsilon_{ae}(k+1) + K_{F11}(k+1)\Delta\varepsilon_a(k+1) + K_{F12}(k+1)\Delta a_{\varepsilon_a}(k+1) \quad (10)$$

$$\omega_{\varepsilon_{aes}}(k+1) = \omega_{\varepsilon_{ae}}(k+1) + K_{F21}(k+1)\Delta\varepsilon_a(k+1) + K_{F22}(k+1)\Delta a_{\varepsilon_a}(k+1) \quad (11)$$

$$a_{\varepsilon_a es}(k+1) = a_{\varepsilon_a e}(k+1) + K_{F31}(k+1)\Delta\varepsilon_a(k+1) + K_{F32}(k+1)\Delta a_{\varepsilon_a}(k+1) \quad (12)$$

$$\varepsilon_{ae}(k+1) = \varepsilon_{aes}(k) + \omega_{\varepsilon_a es}(k)T + 0,5a_{\varepsilon_a es}(k)T^2; \quad (13)$$

$$\omega_{\varepsilon_a e}(k+1) = \omega_{\varepsilon_a es}(k) + a_{\varepsilon_a es}(k)T \quad (14)$$

$$a_{\varepsilon_a es}(k+1) = a_{\varepsilon_a es}(k); \quad (15)$$

$$\Delta\varepsilon_a(k+1) = \varepsilon_{ai}(k+1) - \varepsilon_{ae}(k+1) \quad (16)$$

$$\Delta a_{\varepsilon_a}(k+1) = a_{\varepsilon_{ai}}(k+1) - a_{\varepsilon_a e}(k+1). \quad (17)$$

В уравнениях (10) – (17): K_F – матрицы оптимальных коэффициентов передачи дискретного фильтра; Δ – символ обозначающий невязку измерений соответствующей величины.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ АЗИМУТА

Основным методом исследования реальной точности азимута воздушного судна следует считать компьютерное имитационное моделирование. В процессе выполнения имитационного моделирования определяются суммарные динамические и флуктуационные ошибки во всех возможных вариантах условий применения, а также возможность расходимости фильтра в процессе оценки фазовых координат воздушного судна при выполнении маневра «Посадка» [2, 6].

При моделировании выполняется имитация входных сигналов от измерителей в виде изменяющихся истинного относительного азимута (рис. 1) и истинной угловой скорости азимута (рис. 2) по линии визирования при выполнении воздушным судном маневра «Посадка» [2, 6].

Шумы наблюдения $\xi_{\varepsilon_{ai}}$ и a_{ε_a} имитируются генераторами случайных чисел. Обработка имитированных сигналов производится алгоритмом (10) – (17).

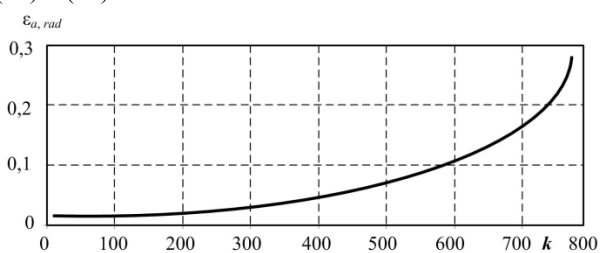


Рис. 1. Зависимость азимута по линии визирования от времени

Из рисунков 1, 2 видно, что зависимости азимута ε_a и углового ускорения скорости азимута a_{ε_a} имеют нелинейные зависимости от времени. Нелинейный характер изменения азимута и углового ускорения азимута существующими моделями состояния и наблюдения в ИИС УВД, где не учитываются кинематические и динамические характеристики воздушных судов, не позволяет получить высокую точность фазовых координат

угломерного канала.

Реальная точность оценивалась по величине средней квадратичной ошибки оценок ε_a , ω_{ε_a} и a_{ε_a} .

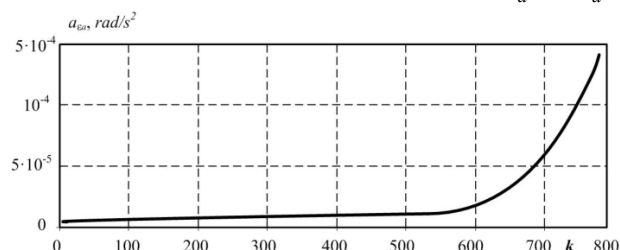
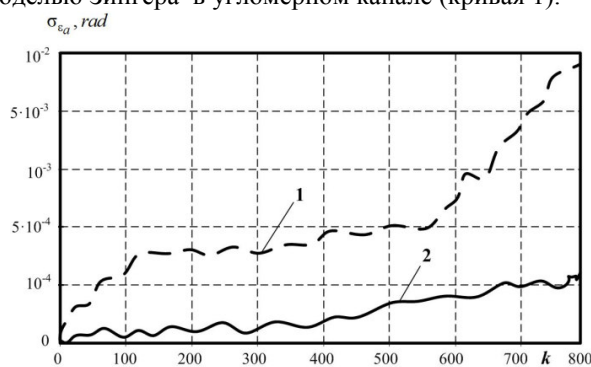


Рис. 2. Зависимость углового ускорения азимута по линии визирования от времени

Компьютерное моделирование проводилось для двух моделей систем угломерного канала по азимуту. В первой модели угломерного канала азимута ИИС используется модель состояния и наблюдения Зингера относительного движения воздушного судна (1) – (4). В другой модели угломерного канала используется модель состояния и наблюдения, где учитываются кинематические и динамические характеристики, поступающие на ИИС с борта воздушного судна (5) – (9).

На рис. 3 – 5 приведены графики изменения во времени средних квадратических ошибок оценки фильтрации азимута ε_a , угловой скорости по азимуту ω_{ε_a} и углового ускорения по азимуту a_{ε_a} по линии визирования между ИИС УВД и воздушным судном. Как видно из рис. 3 – 5, при совершении воздушным судном маневра «Посадка», средние квадратические ошибки оценки ε_a , ω_{ε_a} и a_{ε_a} имеют меньшие значения, если использовать в модели системы угломерного канала ИИС информации о динамике и кинематике движения воздушного судна (кривая 2), по сравнению с моделью Зингера в угломерном канале (кривая 1).



1 – средняя квадратическая ошибка азимута при использовании модели Зингера;
2 – средняя квадратическая ошибка азимута при использовании в фильтре Калмана информации о динамике и кинематике движения воздушного судна

Рис. 3. Средняя квадратическая ошибка азимута



Рис. 4. Средняя квадратическая ошибка угловой скорости по азимуту

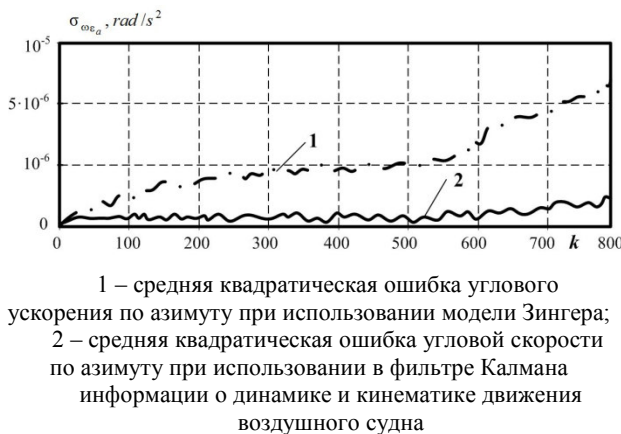


Рис. 5. Средняя квадратическая ошибка углового ускорения по азимуту

Применение разработанных алгоритмов (10) – (17) с учетом информации о кинематических и динамических характеристиках движения воздушных судов позволит лучше решать задачи управления воздушных судов в зоне аэродрома. В частности, за счет улучшения точностных характеристик имеется возможность увеличить пропускную способность системы УВД, при этом сохраняется заданная величина вероятности пересечения области безопасности воздушных судов.

Наличие в модели наблюдения угломерного канала по азимуту различных источников информации: азимут воздушного судна измеряется радиолокационной станцией, угловое ускорение азимута измеряется косвенным методом с учетом параметров о кинематике и динамике воздушного судна, которая поступает на ИИС УВД по системам передачи информации, можно говорить о повышении помехоустойчивости ИИС при воздействии помех на радиолокационную станцию. При воздействии прямошумовых помех на радиолокационную станцию в уравнении наблюдения информация об измеренном азимуте будет отсутствовать, при этом наличие в уравнении наблюдения информации об угловом

ускорении азимута позволяет значительно увеличить время памяти разработанного фильтра по сравнению с фильтром на основе модели Зингера. Это позволяет упростить дальнейший переход в режим слежения по окончании действия помехи или режима молчания РЛС.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Анализ результатов моделирования алгоритмов функционирования угломерного канала по азимуту показал, что точность оценки средних квадратичных ошибок фильтрации азимута ε_a , угловой скорости по азимуту ω_{ε_a} и углового ускорения по азимуту a_{ε_a} по линии визирования между ИИС УВД и воздушным судном лучше с учетом его динамических и кинематических характеристик, по сравнению с фильтром на основе зингеровской модели в 3...4 раза. Это связано с тем что в алгоритмах угломерного канала по азимуту используется информация о динамических и кинематических характеристиках воздушного судна, которая позволяет достаточно точно описать угловое ускорение в модели состояния и наблюдения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, синтезированный алгоритм сопровождения траекторий воздушных судов, построенный с учетом информации бортовых датчиков, позволяет улучшить точностные характеристики фильтров слежения и в результате увеличивает пропускную способность УВД при заданном уровне безопасности.

Преимущество разработанного алгоритма угломерного канала по азимуту с учетом его динамических и кинематических характеристик воздушного судна, по сравнению с известными, позволит увеличить пропускную способность воздушных судов в районе аэродрома не менее 60%, при заданном уровне безопасности полетов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Плясовских, А.П. Автоматизированные системы управления воздушным движением: учеб. пособие / СПб.: ГУАП, 2013. – 450 с.
2. Пудовкин А. П., Данилов С. Н., Панасюк Ю. Н. 2014 Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах. Санкт-Петербург Экспертные решения Publishing – 256 с.
3. Дудник, П. И. Многофункциональные радиолокационные системы : Учебное пособие для вузов / П. И. Дудник, А. Р. Ильчук, Б. Г. Татарский; под общ. ред. Б. Г. Татарского: - М.: Дрофа, 2007. – 283 с.
4. Бакулев П. А. Радиолокационные системы. Учебник для вузов. М: Издательство «Радиотехника», 2007. – 376 с.
5. S. Yun, J. Choi, Y. Yoo, K. Yun, J. Y. Choi Action-Driven Visual Object Tracking With Deep Reinforcement Learning. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, Volume: 29, Issue: 6, June 2018; pp. 2239 – 2252.
6. Панасюк Ю.Н. Обработка информации в радиотехнических системах: учебное пособие для вузов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. - Тамбов: ФГБОУ ВПО "ТГТУ", 2016. – 84 с.

7. Казаринов, Ю. М. Радиотехнические системы : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Ю. М. Казаринов. - М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 592 с.
8. Коновалов, А.А. Основы траекторной обработки радиолокационной информации: в 2 ч. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. Ч.2. 180 с.
9. Кучерявый, А. А. Бортовые информационные системы: Курс лекций / А. А. Кучерявый; под общ. ред. В. А. Мишина и Г. И. Клюева. - 2-е изд., перераб. и доп. – Ульяновск : УлГТУ, 2004. - 504 с.
10. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032112 (2018).
11. Farina A, Studer F A 1993 Radar data processing V1 – Introduction and tracking Research studies press Ltd, 76-99.
12. Haykin S. 2001 Kalman filtering and neural networks, John Wiley & Sons, Inc., 3-20.
13. Иванов А.В. Комплексные оптимальные алгоритмы обработки информации в навигационных системах подвижных наземных объектов // Радиотехника. 2010. №5.
14. Наимов У.Р., Данилов С.Н., Пудовкин А.П., Панасюк Ю.Н., Кольтюков Н.А. Концепция построения и структура перспективного информационно-измерительного комплекса. Вестник ТГТУ. Том 24. №1, 2018. – С. 30 – 36.
15. Pudovkin, A.P. Estimation of location coordinates in the system of vehicle control to ensure traffic safety// International Conference on Recent Advanced in Engineering, Technology and Applied Sciens, Pudovkin A.P., Danilov S.N., Ivanov A.V., Panasuk Y.N., Estimation of location coordinates in the system of vehicle control to ensure traffic safety, USA, Detroit – 2017. p 32-49.
16. Панасюк Ю.Н., Пудовкин А.П., Князев И.В., Глистин В.Н. Использование динамических характеристик воздушного судна в информационно-измерительных системах // Вестник ТГТУ. 2016. №3. С. 381-386.
17. Глистин В.Н., Панасюк Ю.Н. Применение динамических данных воздушного судна в угломерном канале информационно-измерительной системы // Вестник ТГТУ. - 2019.- Том 25. №2. – С. 190 – 196.
18. Глистин, В.Н. Определение приращения скорости изменения азимута воздушного судна / В.Н. Глистин // Тезисы докладов 3-ей всероссийской молодежной научной конференции «Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития». – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», – 2018. – С. 15 – 17.
19. Strukova A.V. Ensuring the implementation of the modernized structure and automation of air traffic control processes in the area of responsibility of the Moscow district of air traffic control. Informacionno-technologicheskij vestnik. 2018; (3):46-54.
20. Lefas C C 1984 IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems AES-20 6 672-81.
21. K. Saho Kalman filters - Theory for advanced applications. Intech: World's largest Science, Technology & Medicine, Open Access book publisher, 2018.
22. X. Chen, X. Wang, J. X. Bradley Tracking Multiple Moving Objects Using Unscented Kalman Filtering Techniques. Department of Electrical & Computer Engineering ; Virginia Polytechnic Institute and State University 900 N. Glebe Road, Arlington, VA 22203, USA, 2018.
- Глистин Вадим Николаевич, аспирант, glistinwadim@mail.ru, Россия, Тамбов, Тамбовский государственный технический университет,*
- Варено Лариса Григорьевна, доктор технических наук, профессор, larisavarepo@yandex.ru, Россия, Омск, Омский государственный технический университет,*
- Панасюк Юрий Николаевич, кандидат технических наук, доцент, ruunikol@mail.ru, Россия, Тамбов, Тамбовский государственный технический университет,*
- Пудовкин Анатолий Петрович, доктор технических наук, профессор, appudovkin.tstu@mail.ru, Россия, Тамбов, Тамбовский государственный технический университет*
- Беляев Максим Павлович – кандидат технических наук., начальник научно-исследовательского отдела, Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», belyaev_mr@mail.ru*
- Данилов Станислав Николаевич, доктор технических наук, профессор, plabz@mail.ru, Россия, Тамбов, Тамбовский государственный технический университет*
- Беляев Павел Серафимович, доктор технических наук, профессор, bps800@yandex.ru, Россия, Тамбов, Тамбовский государственный технический университет,*

THE THETA-THETA CHANNEL FUNCTIONING ALGORITHM OF THE DATA MEASURING MANEUVERING SYSTEM WITH CONSIDERATION TO AIRCRAFT AIRBORNE SENSOR INFORMATION

V.N. Glistin¹, L.G. Varepo², Yu.N. Panasyuk¹, A.P. Pudovkin¹, M.P. Belyaev³,
S.N. Danilov¹, P.S. Belyaev¹

¹Tambov State Technical University (TSTU), Tambov,

²Omsk State Technical University (OmSTU), Omsk,

³Research department, Military Training and Scientific Center of the Air Force "The Zhukovsky - Gagarin Air Force Academy", Voronezh

Abstract – The issue of improving the efficiency of the information and measurement system for air traffic control is considered on the example of the synthesis of algorithms for the operation of the angle channel when escorting an aircraft, taking into account the information from its onboard sensors (kinematic and dynamic parameters), which allows more accurately describing the model of aircraft movement relative to the ATC AIS, in comparison with existing models. This leads to an improvement in the accuracy characteristics of the angle channel. The accuracy characteristics of the AIS affect the throughput and safety of air traffic control. The choice of state and observation models is justified, an algorithm for the operation of the angle channel is developed, computer simulation is performed, and the results of the studied algorithms are obtained. The results of the studied algorithms can be used in the design and development of advanced information and measurement systems for air traffic control.

Keywords: data measuring system, theta-theta channel algorithm in azimuth, simulation modelling

REFERENCES

1. Plyasovskikh A. P., Automated air traffic control systems: textbook, SPb.: SUAI, 2013.
2. Pudovkin A. P., Danilov S. N., Panasyuk Yu. N., 2014 Promising methods processing information in radio systems, Publishing SPb Expert Solutions.
3. Dudnik, P. I., A. R. Il'chuk, and B. G. Tatarskij, Multifunctional radar systems, B. G. Tatarskogo. Moscow: Bustard, 2007.
4. Bakulev P. A., *Radar systems*. Moscow: Publishing Center "Radiotekhnika", 2007.
5. S. Yun, J. Choi, Y. Yoo, K. Yun, J. Y. Choi Action-Driven Visual Object Tracking With Deep Reinforcement Learning. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, Volume: 29, Issue: 6, pp. 2239 – 2252, June 2018.
6. Panasyuk, Yu. N. and A. P. Pudovkin, Information processing in radio engineering systems: textbook for universities. Tambov: FGOU VPO "TSTU", 2016.
7. Kazarinov, Yu. M., *Radio engineering systems*. Moscow: Publishing center "Academy», 2008.
8. Konovalov, A. A., *Fundamentals of trajectory processing of radar information*. Saint-Petersburg: SPbGETU "LETI", 2014.
9. Kucheryavyj, A. A., *On-Board information systems*, V. A. Mishina, G.I. Klyueva - 2nd edition. Ulyanovsk: UISTU, 2004.
10. Pudovkin A. P., Panasyuk Yu. N., Danilov S. N., Moskvitin S. P., 2018 *Journal of Physics: Conference Series*. **1015**(3) 032112
11. Farina A, Studer F A 1993 Radar data processing V1 – Introduction and tracking Research studies press Ltd, 76-99
12. Haykin S, 2001 Kalman filtering and neural networks, John Wiley & Sons, Inc., 3-20
13. Ivanov, A.V., "Complex optimal algorithms for information processing in navigation systems of mobile ground objects". Moscow, Publishing Center "Radiotekhnika", no. 5, pp. 81-88, 2010.
14. Naimov, U. R., S. N. Danilov A. P., Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, and N. A. Kol'tyukov, "Concept of building and structure of a promising information and measurement complex", *Bulletin of TSTU*, vol. ET-24, no. 1, pp. 30–36, 2018.
15. Pudovkin, A. P., S. N. Danilov, A. V. Ivanov, and Yu. N. Panasuk, "Estimation of location coordinates in the system of vehicle control to ensure traffic safety", *International Conference on Recent Advances in Engineering, Technology and Applied Sciences*, Detroit, USA, pp. 32-49, Nov. 2017.
16. Panasyuk, Yu. N., A. P. Pudovkin, I. V. Knyazev, and V. N. Glistin, "Use of aircraft dynamic characteristics in information and measurement systems", *Bulletin of TSTU*, vol. ET-22, no. 3, pp. 381-386, 2016.
17. Glistin, V.N., and Yu. N. Panasyuk, "Application of dynamic aircraft data in the angle channel of the information and measurement system", *Bulletin of TSTU*, vol. ET-25, no. 2, pp. 190–196, 2019.
18. Glistin V. N., "Determination of the increment of the speed of change in the azimuth of the aircraft", *3rd all-Russian youth scientific conference "Radioelectronics. Problems and prospects of development"*, Tambov, Russia, No. 3, pp. 15–17, Nov. 2018.
19. Strukova, A.V. Ensuring the implementation of the modernized structure and automation of air traffic control processes in the area of responsibility of the Moscow district of air traffic control. *Informacionno-technologicheskij vestnik*, no. 3, pp. 46-54, 2018.
20. Lefas C C. 1984 *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* AES-20 6 672-81.
21. K. Saho Kalman filters - Theory for advanced applications. Intech: World's largest Science, Technology & Medicine, Open Access book publisher, 2018.
22. Chen, X. Wang, J. X. Bradley Tracking Multiple Moving Objects Using Unscented Kalman Filtering Techniques. Department of Electrical & Computer Engineering ; Virginia Polytechnic Institute and State University 900 N. Glebe Road, Arlington, VA 22203, USA, 2018.

Glistin Vadim Nikolaevich, graduate student, glistinwadim@mail.ru, Russia, Tambov, Tambov State Technical University

Varepo Larisa Grigorievna, doctor of technical science, professor, larisavarepo@yandex.ru, Russia, Omsk, Omsk State Technical University,

Panasyuk Yuri Nikolaevich, candidate of technical sciences, associate professor, pyunikol@mail.ru, Russia, Tambov, Tambov State Technical University,

Pudovkin Anatoly Petrovich, doctor of technical sciences, professor, appudovkin.tstu@mail.ru, Russia, Tambov, Tambov State Technical University,

Belyaev Maksim Pavlovich – Ph.D. of technical science, belyaev_mp@mail.ru, head of research department, Military Training and Scientific Center of the Air Force “Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin

Danilov Stanislav Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, plabz@mail.ru, Russia, Tambov, Tambov State Technical University,

Belyaev Pavel Serafimovich, doctor of technical science, professor, bps800@yandex.ru, Russia, Tambov, Tambov State Technical University