

УДК 623.746.4-519 + 533.6.013.622

ОПТИКО-ЛОКАЦИОННЫЙ КООРДИНАТОР СИСТЕМЫ САМОНАВЕДЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

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

Военная академия Республики Беларусь, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 4 декабря 2017

Аннотация. Разработана структура оптико-локационного координатора системы самонаведения беспилотного летательного аппарата, обеспечивающего решение задач однократного внутрикадрового (поиска, обнаружения, распознавания) и последовательного межкадрового автоматического сопровождения неподвижных и движущихся одиночных и групповых наземных объектов на фоне поверхности земли.

Ключевые слова: автономная система навигации, оптико-локационная система, оптико-локационный координатор, беспилотный летательный аппарат.

Abstract. The structure of the optical-location coordinator of the homing system for an unmanned aerial vehicle providing the solution of single intraframe (search, detection, recognition) and sequential interframe automatic tracking of stationary and moving single and group ground objects against the background of the earth's surface is developed.

Keywords: autonomous navigation system, optical-location system, optical-locational coordinator, unmanned aerial vehicle.

Doklady BGUIR. 2018, Vol. 113, No. 3, pp. 19-25

Optical-location coordinator of the homing system of an unmanned aerial vehicle

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

Введение

Область применения беспилотных летательных аппаратов (БЛА) затрагивает как гражданскую, так и специальную сферы [1, 2]: рекогносцировка местности, мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности охраняемых объектов, патрулирование границ, контроль дорожного движения, оказание помощи при чрезвычайных ситуациях и пр. Почти все перечисленные области применения БЛА требуют использования бортовой оптико-локационной системы (ОЛС). Важнейшей задачей ОЛС является обеспечение потребителя (оператора БЛА) необходимой визуальной информацией о наблюдаемых объектах. Вопросам эффективного использования информации, полученной от бортовой ОЛС, с целью слежения за наземными объектами посвящено множество отечественных и зарубежных публикаций. В большинстве из них рассматриваются особенности внутрикадровой обработки изображений, полученных бортовой ОЛС, на этапе решения задач обнаружения, измерения и распознавания [1–3]. Стоит отметить, что решение задачи слежения за наземными объектами по данным бортовой ОЛС существенно усложняется в автономном режиме. В таком случае актуальным является применение технологий «машинного зрения» [1, 2] и набирающих популярность в других областях методов межкадровой обработки данных ОЛС [2]. Несмотря на отмеченную актуальность вопросы синтеза структуры системы самонаведения БЛА, а также особенности построения устройств межкадровой обработки данных бортовой ОЛС в известной литературе практически не рассматриваются.

Целью настоящей статьи является разработка оптико-локационного координатора системы самонаведения БЛА, обеспечивающего решение задач однократного внутрикадрового (поиска, обнаружения, распознавания) и последовательного межкадрового автоматического сопровождения неподвижных и движущихся одиночных и групповых наземных объектов на фоне поверхности земли.

Контур самонаведения беспилотного летательного аппарата

В простейшем случае контур самонаведения БЛА в одной плоскости (рис. 1) для двухточечных методов наведения включает в себя координатор, устройство выработки команд и систему стабилизации. Одним из ключевых в системах самонаведения является координатор, выполняющий функцию измерителя, принципы построения и характеристики которого в основном определяются следующими требованиями [4]: измерением величин, необходимых для выработки команды управления; точностью измерения и допустимой разрешающей способностью; минимизацией влияния колебаний БЛА на точность измерения; уменьшением габаритов, веса и стоимости.

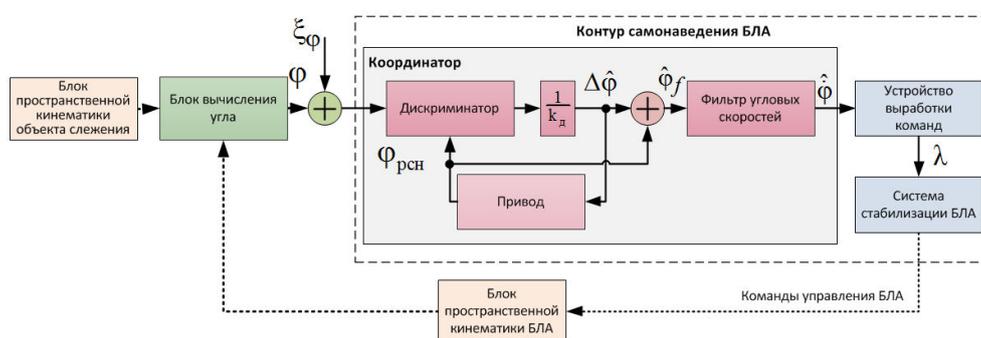


Рис. 1. Обобщенная структура контура самонаведения БЛА в одной плоскости по двухточечному методу

Наиболее приемлемыми для практической реализации контура самонаведения БЛА является метод пропорционального сближения (пропорциональной навигации). Задача координатора в таком случае сводится к измерению угловой скорости линии визирования БЛА–цель $\hat{\phi}$ в вертикальной или горизонтальной плоскости [5]. Используемый координатор должен быть следящим, для чего в его состав вводится привод, который перемещает равносигнальное направление (РСН) антенной системы бортового пеленгатора (головки самонаведения) $\varphi_{РСН}$ независимо от пространственного движения БЛА. Для обеспечения независимости такого движения в контуре управления БЛА принимаются специальные меры по компенсации влияния колебательных движений БЛА на положение центра оптической оси.

Составной частью координатора является дискриминатор, формирующий напряжение сигнала ошибки, пропорциональное угловому рассогласованию между линией визирования БЛА–цель φ и равносигнальным направлением $\varphi_{РСН}$. Оценка рассогласования $\Delta\hat{\phi}$ получается путем умножения сигнала ошибки $D(\Delta\varphi)$ на коэффициент пропорциональности $1/k_d$. Разовая оценка углового направления на объект записывается в виде [5]: $\hat{\phi}_f = D(\Delta\varphi)/k_d + \varphi_{РСН} = \Delta\hat{\phi} + \varphi_{РСН}$. Таким образом, коэффициент передачи контура управления приводом равен 1, а сам контур не влияет на работу основного контура управления БЛА. Разовая оценка $\hat{\phi}_f$ фильтруется для оценки скорости изменения линии визирования $\hat{\phi}$, которая затем в устройстве выработки команд преобразуется в команды управления λ .

Система стабилизации БЛА в своем составе содержит собственно БЛА и автопилот, который решает три основные задачи [5]: преобразует электрические команды управления λ в углы поворота рулей; стабилизирует изменения коэффициента усиления БЛА по нормальному ускорению; уменьшает колебательные свойства БЛА (увеличивает коэффициент демпфирования). В блоке вычисления угла определяется угол линии визирования в измерительной системе координат (СК). Для определения этого угла требуется знать пространственные координаты цели и БЛА, а также скорости их изменения.

Приведенная на рис. 1 структура контура самонаведения БЛА является обобщенной, и при ее практической реализации следует учитывать особенности работы бортовой головки самонаведения, которые (в зависимости от диапазона используемых электромагнитных волн) бывают радиолокационными, оптико-локационными (телевизионными), тепловыми и лазерными. Для бортовой ОЛС характерны: сложная многоцелевая сигнально-помеховая обстановка; геометрические искажения изображения, выдаваемого ОЛС; необходимость учета влияния нелинейных пересчетов и ошибок ОЛС, датчиков ОЛС, интегрированной навигационной системы БЛА на качество выдаваемой информации и решения задачи самонаведения БЛА. С учетом этого была предложена новая структура оптико-локационного координатора, являющегося составной частью системы самонаведения БЛА.

Функциональная схема оптико-локационного координатора системы самонаведения беспилотного летательного аппарата

Оптико-локационный координатор системы самонаведения БЛА (функциональная структура изображена на рис. 2) включает в себя ОЛС, устройство межкадровой обработки (МКО), устройство выбора приоритетного объекта, контур управления ОЛС, а также необходимые блоки пересчета. Оптико-локационный координатор взаимодействует с автоматизированным рабочим местом оператора БЛА, устройством выработки команд и бортовым комплексом навигации и управления БЛА.

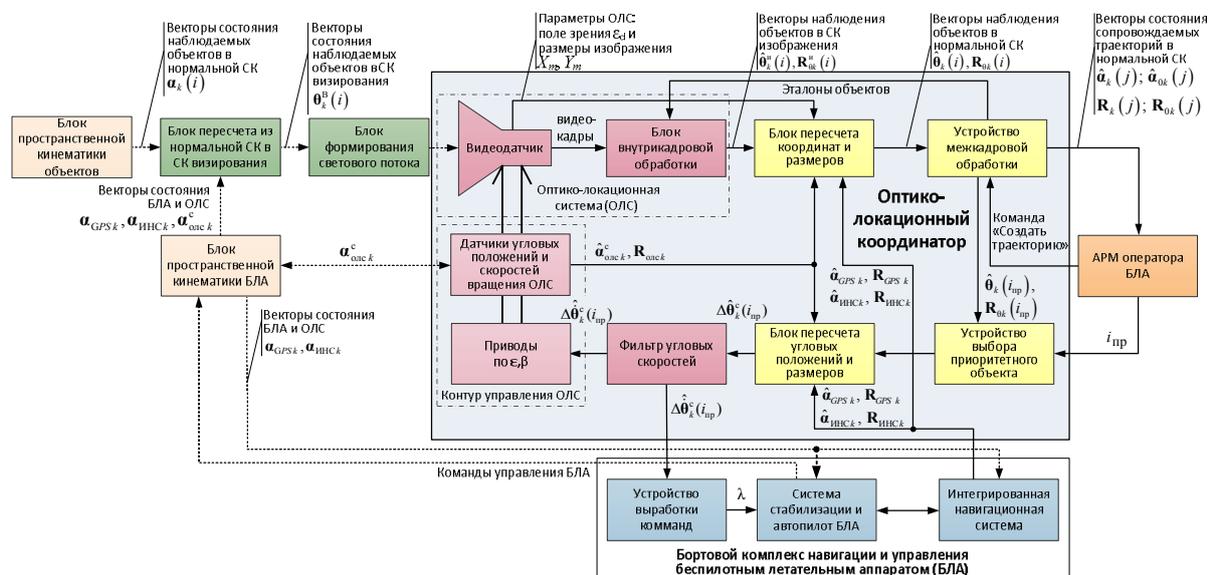


Рис. 2. Функциональная схема оптико-локационного координатора системы самонаведения беспилотного летательного аппарата

Принципы работы предлагаемого оптико-локационного координатора БЛА в соответствии с его структурой заключаются в следующем. На вход блока пересчета из нормальной неподвижной земной СК (рис. 2) в связанную СК поступает совокупность N истинных значений векторов состояния наблюдаемых объектов $\mathbf{a}_k(1), \mathbf{a}_k(2), \dots, \mathbf{a}_k(N)$, истинное значение вектора состояния ориентации ОЛС $\mathbf{a}_{олс k}$, а также вектора состояния БЛА $\mathbf{a}_{инск}$ (углы ориентации и скорости их изменений в связанной СК) и \mathbf{a}_{GPSk} (прямоугольные координаты и скорости их изменений в нормальной СК) в момент времени t_k . Совокупность истинных значений векторов состояния наблюдаемых объектов в нормальной СК $\mathbf{a}_k(1), \mathbf{a}_k(2), \dots, \mathbf{a}_k(N)$ с учетом значений $\mathbf{a}_{олс k}^c$, $\mathbf{a}_{инск}$, \mathbf{a}_{GPSk} пересчитывается в СК визирования камеры $\mathbf{\theta}_k^B(i)$ (угловые направления в двух плоскостях), после чего подается на вход блока формирования светового потока. Фоточувствительный элемент (фотодетектор) видеодатчика преобразует световой поток в видеосигнал, который при помощи системы линз, зеркал, призм, светофильтров подвергается пространственной и спектральной фильтрации и передается на вход блока внутрикадровой обработки ОЛС.

В блоке внутрикадровой обработки ОЛС производятся процедуры линейного контрастирования, фильтрации, децимации, а также реализуются этапы обнаружения и измерения координат и распознавания наблюдаемых объектов. С выхода блока внутрикадровой обработки формируется набор N разовых оценок векторов наблюдения обнаруженных объектов $\hat{\theta}_k^n(i)$ и значения их корреляционных матриц (КМ) ошибок разового оценивания $\mathbf{R}_{\theta k}^n$ в СК дискретизированного изображения, который подается на вход блока пересчета координат и размеров. Помимо этого, на вход блока пересчета координат и размеров подаются параметры ОЛС, выдаваемые непосредственно с видеодатчика – ширина угла зрения в вертикальной плоскости и разрешение цифрового оптического изображения. В блоке пересчета координат и размеров производится расчет разовых оценок векторов наблюдения обнаруженных объектов $\hat{\theta}_k(i)$ и значений их КМ ошибок разового оценивания $\mathbf{R}_{\theta k}(i)$ в местной прямоугольной СК по методике, приведенной в [6]. Для этого на вход блока пересчета с интегрированной навигационной системы БЛА передается информация о пространственном положении и ориентации БЛА и ОЛС: $\hat{\mathbf{a}}_{\text{инск } k}$, $\mathbf{R}_{\text{инск } k}$ (вектор состояния углов ориентации БЛА и его КМ в связанной СК), $\hat{\mathbf{a}}_{\text{GPS } k}$, $\mathbf{R}_{\text{GPS } k}$ (вектор состояния БЛА и его КМ в нормальной СК), $\hat{\mathbf{a}}_{\text{олс } k}^c$, $\mathbf{R}_{\text{олс } k}$ (вектор состояния ОЛС и его КМ с датчиков угловых положений ОЛС).

Известно, что объединение во времени единичных решений о наличии или отсутствии объекта и его классе улучшает характеристики обнаружения, измерения и распознавания [3–5]. Данная задача решается при помощи вторичной обработки информации, которая реализуется в устройстве межкадровой обработки (МКО) оптико-локационной информации. Основные задачи МКО: автоматизация процесса обнаружения наблюдаемых объектов; улучшение вероятностей правильных решений при обнаружении объектов; улучшение наблюдаемости объектов на фоне ложно обнаруженных объектов; повышение точности измерения координат объектов за счет межкадровой фильтрации разовых оценок (оценок вектора наблюдаемых параметров); экстраполяция значений координат и параметров движения объектов. Межкадровая обработка осуществляется последовательно во времени (от кадра к кадру) по мере поступления новых разовых оценок ($\hat{\theta}_k(i)$ и $\mathbf{R}_{\theta k}(i)$) от устройства внутрикадровой обработки. Она включает в себя следующие этапы обработки: отождествление разовых оценок с уже сопровождаемыми траекториями; обнаружение новых траекторий; фильтрация и экстраполяция координат и параметров траекторий; межкадровая селекция скоростных объектов на фоне ложных обнаружений; сброс (удаление) траекторий.

На этапе отождествления разовых оценок (наблюдений) с сопровождаемыми траекториями решается задача привязки наблюдений к траекториям, т. е. определение, какие разовые оценки принадлежат к каким сопровождаемым траекториям. После определения пар отождествления (разовая оценка – траектория) на обработку траектории отдается отождествившаяся с ней разовая оценка. Сложность решения задачи отождествления по данным ОЛС возрастает, когда стробы нескольких траекторий перекрываются и в них попадает несколько разовых оценок, что связано с наличием ложных обнаружений или наблюдением группы близко расположенных объектов [7]. Отождествление производится только для траекторий тех объектов, которые выбраны оператором по команде «взятие на сопровождение». При этом оператору на каждом кадре предлагаются новые обнаруженные траектории.

Этап обнаружения новой траектории отвечает за создание траектории по набору разовых оценок, которые не отождествились ни с одной из сопровождаемых траекторий на этапе отождествления. Такая процедура позволяет, с одной стороны, снизить риск пропуска новых траекторий объектов, входящих в поле зрения ОЛС, с другой – повысить вероятность обнаружения ложной траектории по ложному срабатыванию обнаружителя внутрикадровой обработки ОЛС.

На этапе фильтрации и экстраполяции координат и параметров траекторий для каждой сопровождаемой траектории осуществляется фильтрация и экстраполяция координат и параметров межкадровых траекторий объектов. С целью устранения эффекта «кажущихся

ускорений» алгоритмы фильтрации и экстраполяции необходимо реализовать в прямоугольной СК [8, 9]. Алгоритмы фильтрации и экстраполяции должны быть нелинейными, чтобы учесть искажения, вносимые нелинейными преобразованиями, и одновременно обеспечивать решение задачи оценки вектора состояния в режиме реального времени при высоком темпе обновления информации [6]. Для компенсации динамических ошибок, возникающих в процессе фильтрации координат и параметров маневрирующего объекта, необходимо использовать алгоритмы адаптации [10]. Если объект не наблюдается (не обнаруживается) в пределах поля зрения ОЛС в течение нескольких десятков кадров подряд (критерий сброса), то принимается решение о сбросе траектории с сопровождения. Это решение передается устройству удаления (сброса) траекторий. Реализация перечисленных этапов производится устройством МКО, включающим (рис. 3): устройство отождествления разовых оценок и траекторий; устройство создания новой траектории; устройства фильтрации и экстраполяции координат; устройство удаления (сброса) траектории.

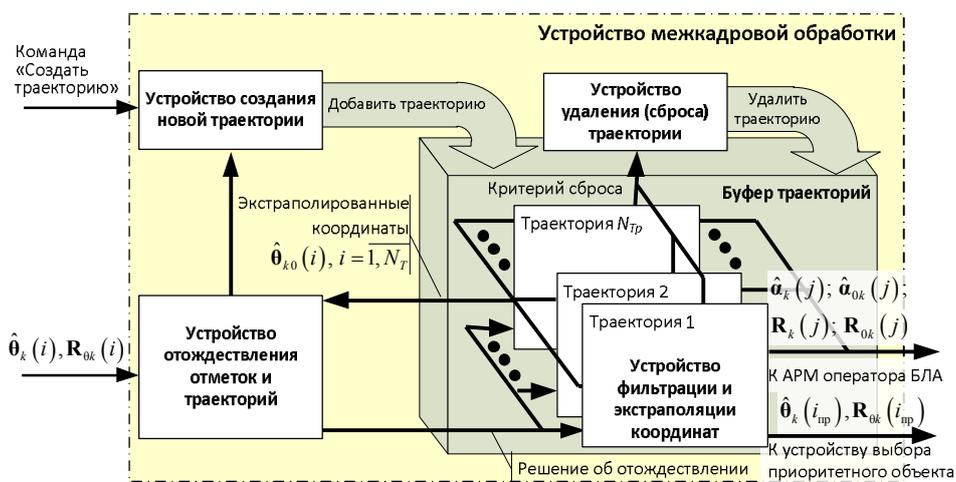


Рис. 3. Упрощенная структурная схема устройства межкадровой обработки опτικο-локационного координатора системы самонаведения беспилотного летательного аппарата

Принцип работы устройства МКО, согласно рис. 2, заключается в следующем. Устройство отождествления разовых оценок и траекторий распределяет разовые оценки координат объектов по сопровождаемым траекториям. Устройство фильтрации и экстраполяции осуществляет объединение разовых оценок с различных кадров по одному объекту, фильтрацию значений его вектора состояния и экстраполяцию (предсказание) на следующий интервал обновления данных с минимальными ошибками. Создание новой траектории происходит по команде оператора «Создать траекторию». По этой команде оператор выбирает разовую оценку координат интересующего его объекта. Инициализация новой траектории происходит по выбранной оценке в устройстве создания новой траектории. С выхода устройства МКО выдаются оценки фильтрованного и экстраполированного векторов состояния объектов $\hat{a}_k(j); \hat{a}_{ok}(j)$ и значения их корреляционных матриц $R_k(j); R_{ok}(j)$ для $N_{тр}$ ($j = \overline{1, N_{тр}}$) сопровождаемых траекторий в t_k момент времени в прямоугольной СК.

Возможности наблюдения всех интересующих объектов ограничиваются полем зрения ОЛС ввиду того, что носитель ОЛС перемещается независимо от наблюдаемых объектов и сами объекты могут передвигаться независимо друг от друга. Исходя из этого, возникает проблема выбора из всех интересующих объектов одного (приоритетного объекта), за которым будет следить ОЛС. Для решения данной проблемы в структуре координатора (рис. 2) имеется взаимосвязь устройства МКО с АРМ оператора БЛА. В итоге оператор БЛА определяет, исходя из обстановки и набора $N_{тр}$ текущих сопровождаемых траекторий, приоритетный объект (под номером $i_{пр}$) и траектории других интересующих объектов, давая команды МКО на автоматическое сопровождение этих объектов.

Устройство выбора приоритетного объекта по номеру $i_{\text{пр}}$ и данным МКО осуществляет выдачу нефильТРованной разовой оценки приоритетного объекта $\hat{\theta}_k(i_{\text{пр}})$, $\mathbf{R}_{\text{ок}}(i_{\text{пр}})$ на блок вычислений угловых положений и размеров, где вычисляются угловые рассогласования $\Delta\hat{\theta}_k^c(i_{\text{пр}})$ (в двух плоскостях) приоритетного объекта относительно центра оптической ОЛС в связанной СК. Фильтр угловых скоростей производит оценку угловой скорости вращения линии визирования $\Delta\hat{\theta}_k^c(i_{\text{пр}})$, которая используется как в контуре управления ОЛС (для ориентации направления центра оптической оси на приоритетный объект), так и в устройстве выработки команд (для преобразования в команды управления λ). Контур управления ОЛС формирует команды поворота гиросtabilизированным приводам ОЛС по угловым координатам в вертикальной и горизонтальной плоскости, перемещающим центр оптической оси камеры независимо от пространственного движения БЛА на требуемые углы согласно выражениям, приведенным в [6]. Бортовой комплекс навигации и управления, работая в режиме автоматического управления, использует текущие координаты и параметры движения БЛА, измеряемые интегрированной навигационной системой, определяет величины отклонений текущих параметров от заданных и вырабатывает команды автопилоту, передаваемые на органы управления БЛА, с целью обеспечения слежения за приоритетным объектом.

Заключение

Таким образом, в настоящей статье представлена разработанная структура оптико-локационного координатора БЛА, обеспечивающего решение задач однократного внутрикадрового (поиска, обнаружения, распознавания) и последовательного межкадрового автоматического сопровождения неподвижных и движущихся одиночных и групповых наземных объектов на фоне поверхности земли. Представленная структура основывается на обобщенной структуре контура самонаведения БЛА в одной плоскости по двухточечному методу. Особенности предлагаемой структуры оптико-локационного координатора: учет нелинейных пересчетов и ошибок ОЛС, датчиков ОЛС, интегрированной навигационной системы на качество выдаваемой информации для решения задачи самонаведения; использование устройства межкадровой обработки, обеспечивающего информацией оператора БЛА и решение задачи селекции сопровождаемого приоритетного объекта, наблюдаемого на фоне земной поверхности, в местной прямоугольной СК; использование устройства выбора приоритетного объекта, выдающего нефильТРованные оценки угловых координат сопровождаемого приоритетного объекта на контур управления приводами ОЛС.

Список литературы

1. Биард Р.У., МакЛэйн Т.У. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2015. 312 с.
2. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов / Под ред. М.Н. Красильщикова, Г.Г. Себрякова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 556 с.
3. Обнаружение и координатометрия оптико-электронных средств, оценка параметров их сигналов / Под ред. Ю.Л. Козирацкого. М.: Радиотехника, 2015. 454 с.
4. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / Б.А. Алпатов [и др.]. М.: Радиотехника, 2008. 176 с.
5. Высокоточные системы самонаведения: расчет и проектирование. Вычислительный эксперимент / Под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. 512 с.
6. Методика расчета ошибок разового оценивания местоположения наблюдаемых объектов в бортовых оптико-локационных системах / А.С. Солонар [и др.] // Докл. БГУИР. 2014. № 7 (85). С. 71–77.
7. Солонар А.С., Михалковский А.А. Особенности применения алгоритма JV для решения задачи отождествления на этапе вторичной обработки радиолокационной информации // Вест. Воен. акад. Респ. Беларусь. 2017. № 2. С. 87–95.
8. Хмарский П.А., Солонар А.С. Влияние условий наблюдения на показатели качества дискретных фильтров Калмана при наблюдении прямоугольных координат // Приложение к Известиям НАН Беларуси. 2014. № 2. С. 102–109.

9. Солонар А.С., Хмарский П.А. 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.
10. Солонар А.С., Хмарский П.А., Михалковский А.А. Особенности фильтрации координат и параметров движения объекта на этапе совершения установившегося разворота // Докл. БГУИР. 2013. № 4 (74). С. 67–73.

References

1. Biard R.U., MakLjejn T.U. Malye bespilotnye letatel'nye apparaty: teorija i praktika. M.: TEHNOSFERA, 2015. 312 s. (in Russ.)
2. Sovremennye informacionnye tehnologii v zadachah navigacii i navedenija bespilotnyh manevrennyh letatel'nyh apparatov / Pod red. M.N. Krasil'shnikova, G.G. Sebrjakova. M.: FIZMATLIT, 2009. 556 s. (in Russ.)
3. Obnaruzhenie i koordinatometrija optiko-jelektronnyh sredstv, ocenka parametrov ih signalov / Pod red. Ju.L. Kozirackogo. M.: Radiotekhnika, 2015. 454 s. (in Russ.)
4. Metody avtomaticheskogo obnaruzhenija i soprovozhdenija ob'ektov. Obrabotka izobrazhenij i upravlenie / B.A. Alpatov [i dr.]. M.: Radiotekhnika, 2008. 176 s. (in Russ.)
5. Vysokotochnye sistemy samonavedenija: raschet i proektirovanie. Vychislitel'nyj jeksperiment / Pod red. K.A. Pupkova i N.D. Egupova. M.: FIZMATLIT, 2011. 512 s. (in Russ.)
6. Metodika rascheta oshibok razovogo ocenivanija mestopolozhenija nabljudаемых ob'ektov v bortovyh optiko-lokacionnyh sistemah / A.S. Solonar [i dr.] // Dokl. BGUIR. 2014. № 7 (85). S. 71–77. (in Russ.)
7. Solonar A.S., Mihalkovskij A.A. Osobennosti primenenija algoritma JV dlja reshenija zadachi otozhdestvlenija na jetape vtorichnoj obrabotki radiolokacionnoj informacii // Vest. Voen. akad. Resp. Belarus'. 2017. № 2. S. 87–95. (in Russ.)
8. Hmarskij P.A., Solonar A.S. Vlijanie uslovij nabljudenija na pokazateli kachestva diskretnyh fil'trov Kalmana pri nabljudenii prjamougol'nyh koordinat // Prilozhenie k Izvestijam NAN Belarusi. 2014. № 2. S. 102–109. (in Russ.)
9. Solonar A.S., Hmarskij P.A. 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.)
10. Solonar A.S., Hmarskij P.A., Mihalkovskij A.A. Osobennosti fil'tracii koordinat i parametrov dvizhenija ob'ekta na jetape sovershenija ustanovivshegosja razvorota // Dokl. BGUIR. 2013. № 4 (74). S. 67–73. (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 приемопередающих устройств Военной академии Республики Беларусь.

Цуприк С.В., адъюнкт Военной академии Республики Беларусь.

Иванюк В.С., к.т.н., доцент, доцент кафедры авиационных радиоэлектронных систем Военной академии Республики Беларусь.

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

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, the department of radar-location and send-recv devices of Military academy of the Republic of Belarus.

Tsuprik S.V., PG student of Military academy of the Republic of Belarus

Ivanuk V.S., PhD, associate professor, associate professor of the department aviation radio-electronic systems of Military Academy of Republic of Belarus.

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