

СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОНОКУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ В ГИРОСТАБИЛИЗИРОВАННОМ ПОДВЕСЕ

В.Г. Бондарев¹, Д.А. Смирнов¹, Н.И. Майгурова¹, А.В. Николенко¹, К.Ю. Гусев²,
С.Ю. Вахмин¹

¹Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия
им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Россия

²Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

Аннотация: представлена структура монокулярной системы технического зрения в режимах гиросtabilизации и слежения за объектом. В режиме слежения за объектом интереса выполняется обработка изображения с целью определения его координат на фотоматрице, а затем процесс слежения сводится к такому перемещению рам карданова подвеса, который завершается заданным положением изображения на фотоматрице. При этом показана отработка такого положения рам подвеса, чтобы изображение особой точки, являющейся простой моделью объектов интереса, всегда стремилось к центру фотоматрицы, что улучшает качество изображения фотокамеры и снижает уровень вибрации во время движения летательных аппаратов (ЛА). Это позволяет не только следить за объектом интереса, но и производить сопровождение и захват различных объектов, а также решать задачи навигации ЛА с использованием монокулярной системы технического зрения в гиросtabilизированном подвесе. Дальнейшим развитием режима сопровождения объекта интереса является слежение за протяженным объектом, на котором можно выделить две и более особых точек, тогда обеспечивается управление всех трех рам карданова подвеса и стабилизируется не только линейное, но и угловое положение изображения объекта на фотоматрице

Ключевые слова: монокулярная система, техническое зрение, система слежения, режим гиросtabilизации, уровень вибрации, созвездие маяков

Введение

Системы технического зрения давно и очень эффективно используются в промышленности, робототехнике, показывая свои метрологические и информационные достоинства, поэтому расширение сферы их применения для обеспечения автоматического движения транспортных средств является вполне ожидаемым [1]. Вторым наиболее актуальным направлением применения систем технического зрения является решение задач автоматизации сложных этапов полета летательных аппаратов (ЛА). Назовем наиболее известные задачи, решение которых в автоматическом режиме давно стало насущной необходимостью, но до сих пор не реализовано из-за отсутствия удовлетворительных измерительных средств параметров местоположения и движения ЛА. Такими задачами принято считать посадку самолетов на аэродром, посадку самолетов и вертолетов на авианосец, дозаправку топливом в воздухе, полет строем, облет препятствий, боевое применение оружия, навигация, слежение за объектом интереса [2, 3].

Высокий профессионализм летного состава только частично решает проблемы успешного выполнения этих режимов полета, но он, как известно, требует значительных затрат на подготовку летчиков, а малейшее ослабление требований к их профессионализму очень скоро оборачивается ростом трагической статистики.

Нерешенность автоматизации названных проблем существенно снижает привлекательность как пилотируемой, так и беспилотной авиации, которая в последние годы бурно совершенствуется в наиболее развитых странах.

Актуальность

Анализ существующих методов определения пространственного и углового положения самолета относительно взлетно-посадочной полосы (ВПП), самолета-заправщика, ведущего самолета, препятствий в воздухе или наземных объектов показывает, что эти методы либо обладают низкой точностью, неудовлетворяющей требованиям к системам автоматического управления, либо оборудование имеет значительные массу, габариты и стоимость. Например, низкая точность измерения бывает при визуальном определении положения ЛА, при этом попытки формирования с помощью лазе-

ров разноцветных зон являются хорошей помощью летчику на посадке, но в целом, это шаг в сторону от автоматической посадки [4].

Использование фотокамеры на борту ЛА имеет особенности, связанные с его движением и вибрациями, которые существенно ухудшают изображение [5], поэтому для улучшения качества изображения фотокамеру, как правило, размещают в гиростабилизированный подвес, который обеспечивает неизменное положение оптической оси фотокамеры в инерциальном пространстве [6]. Применение фотокамеры не только для видеонаблюдения, но и для решения задач измерения, навигации, захвата и сопровождения различных объектов требует осуществления управления движением подвеса по сигналам, сформированным на основе обработки изображений объекта интереса, полученных на фотоматрице [7].

Рассмотрен принцип действия системы технического зрения (СТЗ) и получены соотношения, описывающие процесс измерений при произвольном расположении оптико-локационных блоков (ОЛБ) системы, что позволяет осуществлять измерения посредством подвижных (управляемых) ОЛБ. При решении измерительных и навигационных задач используется подход, основанный на измерении координат минимального комплекта точек объекта, земной поверхности, лазерных маяков в окрестности ВПП аэродрома и т.д. [8]. Поэтому целью обработки изображений является поиск этих точек и определение их координат на фоточувствительных матрицах ОЛБ. Вычислительная процедура нахождения параметров движения объектов осуществляется путем решения систем уравнений (как правило, нелинейных алгебраических), описывающих процесс измерений. При выводе уравнений используются утверждения геометрической оптики, аппарат аналитической геометрии и теории матриц [9]. В ряде вычислительных алгоритмов, полученных таким образом, удалось найти аналитические решения систем уравнений, что привело к компактным вычислениям. Те измерительные алгоритмы, где аналитические решения систем уравнений вызывают затруднения, строятся с использованием численных методов решения [10].

На посадке объектом интереса является созвездие наземных лазерных маяков, поэтому рассмотрим решение задачи стабилизации изображения созвездия маяков на фотоматрице камеры.

Как показывает опыт использования камеры видеонаблюдения, размещенной в кардано-

вом подвесе с гироскопической стабилизацией положения камеры, значительные дрейфы микромеханических гироскопов приводят к тому, что рама курса оказывается свободно дрейфующей в азимуте, поэтому необходима стабилизация положения изображения объекта интереса на фотоматрице камеры. Кроме этого погрешности измерения параметров местоположения ЛА существенно зависят от фокусного расстояния фотообъектива, при этом желательно использовать наибольшее фокусное расстояние, а это возможно, если фокусное расстояние регулируется автоматически, обеспечивая его наибольшее значение на этой дальности.

Использование фотокамеры на борту ЛА имеет особенности, связанные с его движением и вибрациями, которые существенно ухудшают изображение, поэтому для улучшения качества изображения фотокамеру, как правило, размещают в гиростабилизированный подвес, который обеспечивает неизменное положение оптической оси фотокамеры в инерциальном пространстве. Применение фотокамеры не только для видеонаблюдения, но и для решения задач измерения, навигации, захвата и сопровождения различных объектов, требует осуществления управления движением подвеса по сигналам, сформированным на основе обработки изображений объекта интереса, полученных на фотоматрице.

Параметры в схеме карданова подвеса отражены в следующей структуре управления каналами стабилизации на рис. 1.

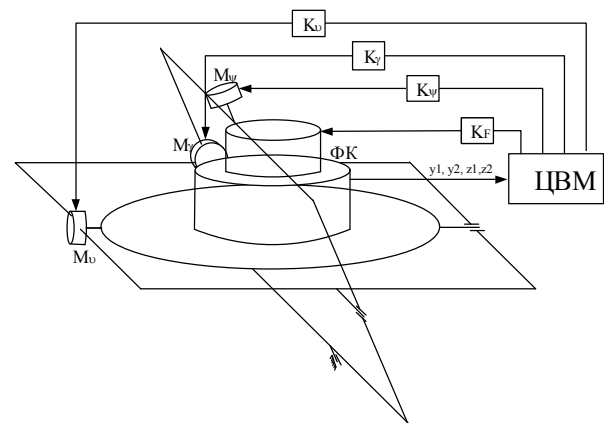


Рис. 1. Структура системы слежения за созвездием маяков

Важным элементом системы слежения за созвездием маяков является обеспечение стабильности его габаритов с изменением дальности до беспилотного летательного аппарата (БЛА). Этого можно достигнуть автоматическим изменением фокусного расстояния варио-

объектива камеры пропорционально этому расстоянию.

$$F_{\text{зад}} = \frac{l_{z2} - l_{z1}}{\sqrt{(y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}} K_F, \quad (1)$$

где K_F – коэффициент передачи канала регулирования фокусного расстояния объектива; $l_{z2} - l_{z1}$ – расстояние между фронтально расположенными маяками M_1 и M_2 .

Величины углов $\theta_\gamma, \theta_\psi, \theta_v$ снимаются с датчиков углов карданова подвеса, при этом управляющие сигналы для датчиков моментов гиросплатформы формируются таким образом, чтобы оптическая ось фотокамеры проходила через середину отрезка M_1M_2 . Изображение отрезка M_1M_2 на фотоматрице – отрезок S_1S_2 должно совместиться со строкой фотоматрицы. Для обеспечения этих условий вместо сигналов гироскопической стабилизации сформируем три следующих сигнала управления рамами подвеса

$$\begin{aligned} M_\gamma &= \frac{y_1 - y_2}{z_1 - z_2} K_\gamma, \\ M_v &= \frac{y_1 + y_2}{2} K_v, \\ M_\psi &= \frac{z_1 + z_2}{2} K_\psi, \end{aligned} \quad (2)$$

где M_γ, M_v, M_ψ – моменты сил в каналах рам крена, тангажа и рыскания; K_γ, K_v, K_ψ – коэффициенты передачи каналов обработки рам крена, тангажа и рыскания.

Для описания положения особой точки $(x_p^{(1)}, y_p^{(1)}, z_p^{(1)})$ через координаты ее изображения на фотоматрице $(y_s^{(1)}, z_s^{(1)})$ и углы поворота рам карданового подвеса введем в рассмотрение прямоугольную систему координат $OXYZ$, связанную с ЛА (базис i, j, k), ось OX совпадает с продольной осью, ось OZ совпадает с поперечной осью ЛА, а OY ось образует правую систему координат (рис. 2).

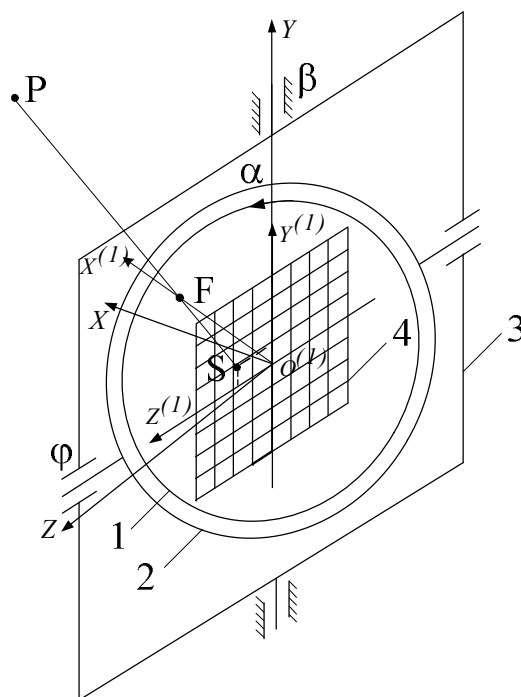


Рис. 2. Фотокамера в кардановом подвесе:
1 – рама крена, 2 – рама тангажа, 3 – рама курса,
4 – фотоматрица, β – угол поворота рамы курса
относительно основания подвеса, ϕ – угол поворота рамы
тангажа относительно рамы курса, α – угол поворота
рамы крена, относительно рамы тангажа

Система координат $O^{(1)}X^{(1)}Y^{(1)}Z^{(1)}$ – подвижная система, связанная с креновой рамой и установленной на ней фотоматрицей, где ось $O^{(1)}X^{(1)}$ направлена по оптической оси объектива, ось $O^{(1)}Y^{(1)}$ направлена вверх перпендикулярно горизонтальной стороне фотоматрицы, ось $O^{(1)}Z^{(1)}$ перпендикулярна осям $O^{(1)}X^{(1)}, O^{(1)}Y^{(1)}$, образуя с ними правую систему координат с базисом $i^{(1)}j^{(1)}k^{(1)}$.

Преобразование координат произвольного вектора из системы координат $OXYZ$ в систему координат $O^{(1)}X^{(1)}Y^{(1)}Z^{(1)}$ осуществляется посредством известного соотношения, учитывающего только взаимное угловое положение систем координат. Связь между старыми и новыми координатами вектора для случая, когда оба базиса являются ортонормированными, задается следующей формулой

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \phi & \sin \phi & 0 \\ -\sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x^{(1)} \\ y^{(1)} \\ z^{(1)} \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} \cos \beta \cos \phi & \sin \phi \cos \alpha \cos \beta + \sin \beta \sin \alpha & \sin \phi \sin \alpha \cos \beta - \sin \beta \cos \alpha \\ -\sin \phi & \cos \phi \cos \alpha & \cos \phi \sin \alpha \\ \sin \beta \cos \phi & \sin \phi \cos \alpha \sin \beta - \sin \alpha \cos \beta & \cos \beta \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x^{(1)} \\ y^{(1)} \\ z^{(1)} \end{pmatrix} \quad (3)$$

где

$$(A) = \begin{pmatrix} \cos \beta \cos \phi & \sin \phi \cos \alpha \cos \beta + \sin \beta \sin \alpha & \sin \phi \sin \alpha \cos \beta - \sin \beta \cos \alpha \\ -\sin \phi & \cos \phi \cos \alpha & \cos \phi \sin \alpha \\ \sin \beta \cos \phi & \sin \phi \cos \alpha \sin \beta - \sin \alpha \cos \beta & \cos \beta \cos \alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i^{(1)}i & j^{(1)}i & k^{(1)}i \\ i^{(1)}j & j^{(1)}j & k^{(1)}j \\ i^{(1)}k & j^{(1)}k & k^{(1)}k \end{pmatrix}, \quad (4)$$

(A) – матрица направляющих косинусов.

Вектор \mathbf{FS} , описывающий геометрический центр объектива в системе $O^{(1)}X^{(1)}Y^{(1)}Z^{(1)}$ выразим следующим образом

$$\mathbf{FS} = i^{(1)}F - j^{(1)}y_s^{(1)} - k^{(1)}z_s^{(1)}. \quad (5)$$

Вычислим проекции вектора \mathbf{FS} на оси системы координат $OXYZ$, для чего используем соотношение (3)

$$\begin{aligned} \mathbf{FS} &= i^{(1)}F - j^{(1)}y_s^{(1)} - k^{(1)}z_s^{(1)} = (a_{11}i + a_{21}j + a_{31}k)F - \\ &- (a_{12}i + a_{22}j + a_{32}k)y_s^{(1)} - (a_{13}i + a_{23}j + a_{33}k)z_s^{(1)} = \\ &= (Fa_{11} - y_s^{(1)}a_{12} - z_s^{(1)}a_{13})i + (Fa_{21} - y_s^{(1)}a_{22} - z_s^{(1)}a_{23})j + \\ &+ (Fa_{31} - y_s^{(1)}a_{32} - z_s^{(1)}a_{33})k \end{aligned} \quad (6)$$

Вектора \mathbf{PS} и \mathbf{FS} лежат на одной прямой, поэтому должны удовлетворять условию коллинеарности

$$\begin{vmatrix} i & j & k \\ Fa_{11} - y_s^{(1)}a_{12} - z_s^{(1)}a_{13} & Fa_{21} - y_s^{(1)}a_{22} - z_s^{(1)}a_{23} & Fa_{31} - y_s^{(1)}a_{32} - z_s^{(1)}a_{33} \\ P_x & P_y & P_z \end{vmatrix} = 0 \quad (7)$$

В скалярном виде это условие переписывается в следующем виде

$$\begin{aligned} (Fa_{21} - y_s^{(1)}a_{22} - z_s^{(1)}a_{23})P_z - (Fa_{31} - y_s^{(1)}a_{32} - z_s^{(1)}a_{33})P_y &= 0 \\ (Fa_{11} - y_s^{(1)}a_{12} - z_s^{(1)}a_{13})P_z - (Fa_{31} - y_s^{(1)}a_{32} - z_s^{(1)}a_{33})P_x &= 0 \\ (Fa_{11} - y_s^{(1)}a_{12} - z_s^{(1)}a_{13})P_y - (Fa_{21} - y_s^{(1)}a_{22} - z_s^{(1)}a_{23})P_x &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

Поскольку полученные уравнения линейно зависимы, что легко проверяется, поэтому, отбросив третье из них, получим два уравнения, связывающие декартовы координаты особой точки и углы ориентации рам карданова подвеса

$$\begin{cases} (Fa_{21} - y_s^{(1)}a_{22} - z_s^{(1)}a_{23})P_z - (Fa_{31} - y_s^{(1)}a_{32} - z_s^{(1)}a_{33})P_y = 0 \\ (Fa_{11} - y_s^{(1)}a_{12} - z_s^{(1)}a_{13})P_z - (Fa_{31} - y_s^{(1)}a_{32} - z_s^{(1)}a_{33})P_x = 0 \end{cases} \quad (9)$$

Наличие только двух уравнений для трех координат показывает принципиальную невозможность прямых измерений декартовых координат точечного объекта посредством одной фотокамеры

Фотокамера, установленная на гиросtabilизированном подвесе, является превосходным средством для решения задачи слежения за различными объектами, наиболее простой моделью таких объектов может быть особая точка. Целью процесса слежения является отработка такого положения рам подвеса, чтобы изображение особой точки всегда стремилось, например, к центру фотоматрицы. Поэтому включение такого режима работы карданова подвеса должно начинаться с отключения гироскопической стабилизации. Сигналами, обеспечивающими режим слежения, должны быть сигналы отклонения изображения точки от центра фотоматрицы (y_s, z_s) (рис. 3).

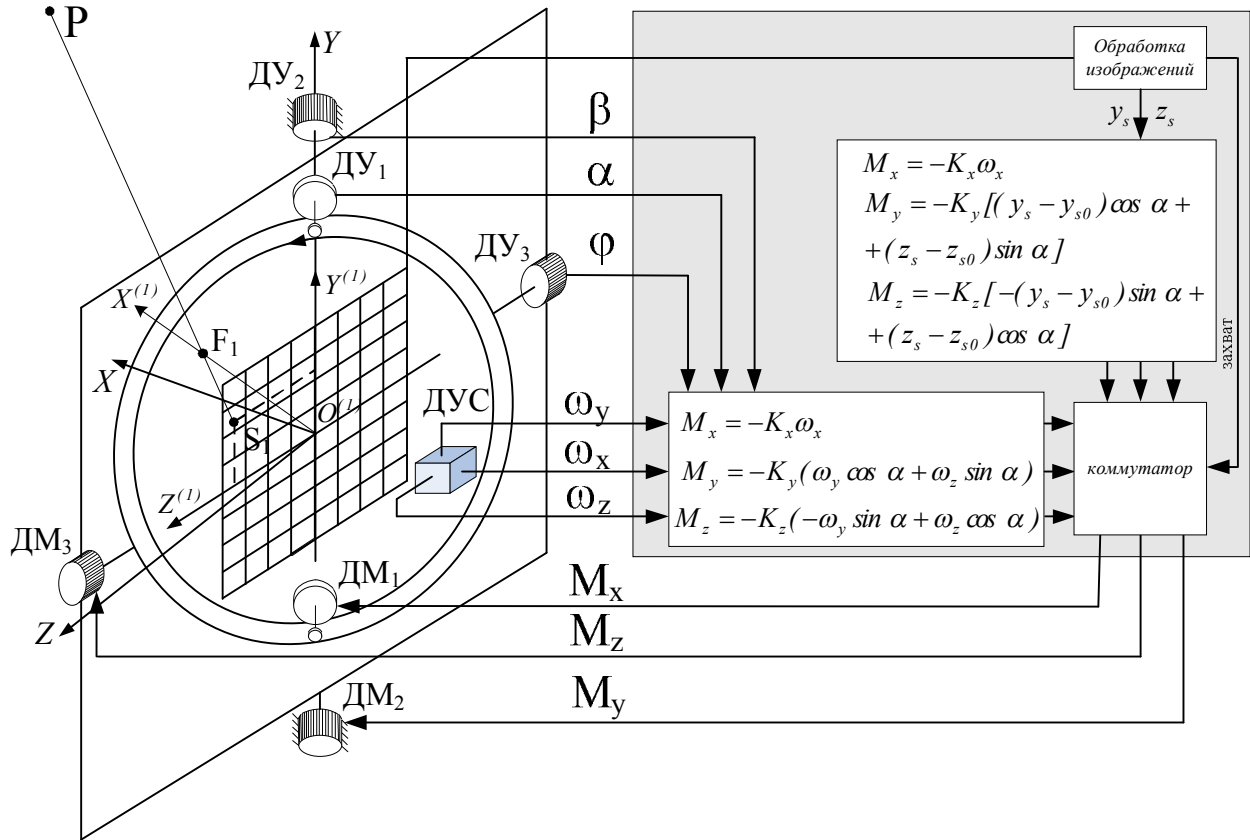


Рис. 3. Структура монокулярной СТЗ в режимах гиросtabilизации и слежения за объектом

Функционирование системы в режиме гиросtabilизации сводится к формированию моментов стабилизации пропорциональным проекциям вектора угловой скорости рамы крена, на которой установлен трехкомпонентный датчик угловой скорости (ДУС) на оси датчиков моментов ДМ₁, ДМ₂ и ДМ₃, причем знак момента стабилизации должен быть направлен противоположно знаку угловой скорости, что обеспечивает нулевой вектор угловой скорости креновой рамы в пространстве. Это обеспечивается следующими моментами

$$M_x = -K_x \omega_x, \quad (10)$$

$$M_y = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{pmatrix} \Big|_y = \begin{pmatrix} \omega_x \\ \omega_y \cos \alpha + \omega_z \sin \alpha \\ -\omega_y \sin \alpha + \omega_z \cos \alpha \end{pmatrix} \Big|_y = -K_y (\omega_y \cos \alpha + \omega_z \sin \alpha), \quad (11)$$

$$M_z = \begin{pmatrix} \cos \phi & \sin \phi & 0 \\ -\sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{pmatrix} \Big|_z = \begin{pmatrix} \omega_x \cos \phi + \sin \phi (\omega_y \cos \alpha + \omega_z \sin \alpha) \\ -\omega_x \sin \phi + \cos \phi (\omega_y \cos \alpha + \omega_z \sin \alpha) \\ -\omega_y \sin \alpha + \omega_z \cos \alpha \end{pmatrix} \Big|_z = -K_z (-\omega_y \sin \alpha + \omega_z \cos \alpha). \quad (12)$$

В режиме слежения за объектом выполняется обработка изображения с целью определения координат изображения объекта на фотоматрице, а затем процесс слежения сводится к такому перемещению рам карданова подвеса, который завершается заданным положением изображения на фотоматрице. Очевидно, что для точечного объекта возможно формирование сигнала управления только двух рам – тангажа и рыскания, рама крена может управляться, например тем же сигналом, что и в режиме стабилизации. Определим проекции сигнала с фотоматрицы на оси датчиков момента, получим

$$M_x = -K_x \omega_x, \quad (13)$$

$$M_y = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ y_s - y_{s0} \\ z_s - z_{s0} \end{pmatrix} = \quad (14)$$

$$= -K_y [(y_s - y_{s0}) \cos \alpha + (z_s - z_{s0}) \sin \alpha],$$

$$M_z = \begin{pmatrix} \cos \phi & \sin \phi & 0 \\ -\sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ (y_s - y_{s0}) \\ (z_s - z_{s0}) \end{pmatrix} = \quad (15)$$

$$= -K_z [-(y_s - y_{s0}) \sin \alpha + (z_s - z_{s0}) \cos \alpha].$$

Коммутация режимов функционирования гиросtabilизированной платформы выполняется при наличии сигнала захват, который формируется модулем обработки изображения.

Дальнейшим развитием режима сопровождения объекта интереса является слежение за протяженным объектом, на котором можно выделить две и более особых точек, тогда обеспечивается управление всех трех рам карданова подвеса и стабилизируется не только линейное, но и угловое положение изображения объекта на фотоматрице.

Пусть на объекте интереса выделено две особые точки с координатами (y_{s1}, z_{s1}) и (y_{s2}, z_{s2}) , тогда процесс управления может быть основан на следующих соотношениях

$$M_x = -K_x \left(\frac{(y_{s1} + y_{s2}) / 2 - y_{s0}}{\sqrt{[(y_{s1} + y_{s2}) / 2 - y_{s0}]^2 + [(z_{s1} + z_{s2}) / 2 - z_{s0}]^2}} \right), \quad (16)$$

$$M_y = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ (y_{s1} + y_{s2}) / 2 - y_{s0} \\ (z_{s1} + z_{s2}) / 2 - z_{s0} \end{pmatrix} = \quad (17)$$

$$= -K_y \{ [(y_{s1} + y_{s2}) / 2 - y_{s0}] \cos \alpha + [(z_{s1} + z_{s2}) / 2 - z_{s0}] \sin \alpha \},$$

$$M_z = \begin{pmatrix} \cos \phi & \sin \phi & 0 \\ -\sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ (y_{s1} + y_{s2}) / 2 - y_{s0} \\ (z_{s1} + z_{s2}) / 2 - z_{s0} \end{pmatrix} = \quad (18)$$

$$= -K_z \{ -(y_{s1} + y_{s2}) / 2 - y_{s0} \} \sin \alpha + [(z_{s1} + z_{s2}) / 2 - z_{s0}] \cos \alpha \}.$$

Такое управление обеспечивает размещение изображения середины отрезка (s_1, s_2) в заданной точке (y_{s0}, z_{s0}) , с ориентацией изображения отрезка параллельно оси $O^{(1)}Z^{(1)}$. Следует отметить, что вариантов управления может быть много, в зависимости от задачи, которая ставится в процессе слежения.

Заключение

Таким образом, в режиме слежения за объектом интереса выполняется обработка изображения с целью определения его координат на фотоматрице, а затем процесс слежения сводится к такому перемещению рам карданова подвеса, который завершается заданным положением изображения на фотоматрице, при этом показана отработка такого положения рам подвеса, чтобы изображение особой точки, являющейся простой моделью объектов интереса, всегда стремилось к центру фотоматрицы, что улучшает качество изображения фотокамеры и снижает уровень вибрации во время движения ЛА, это позволяет не только следить за объектом интереса, но и производить сопровождение и захват различных объектов, а также решать задачи навигации ЛА с использованием монокулярной системы технического зрения в гиросtabilизированном подвесе.

Дальнейшим развитием режима сопровождения объекта интереса является слежение за протяженным объектом, на котором можно выделить две и более особых точек, тогда обеспечивается управление всех трех рам карданова подвеса и стабилизируется не только линейное, но и угловое положение изображения объекта на фотоматрице.

Литература

1. Williams K.W. A Summary of Unmanned Aircraft Accident // Incident Data: Human Factors Implications. Civil Aerospace Medical Institute. Oklahoma City. 2004. P. 287-294.
2. Шивринский В.Н. Навигационные системы летательных аппаратов. Ульяновск: УлГТУ, 2012. 149 с.
3. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов / Б.А. Алпатов, П.В. Бабаян, О.Е. Балашов, А.И. Степашкин. М.: Радиотехника, 2008. 176 с.
4. Логвин А.И., Волков А.В. Алгоритмы автоматического распознавания взлетно-посадочной полосы на видеоизображениях // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 213. С. 115-117.
5. Пат. 2401436 Российская Федерация, МПК7 G 01s 11/00. Способ измерения координат объекта и устройство для его осуществления / Бондарев В.Г., Бондарев В.В., Бондарев М.В. № 2008110814/09; Бюл. № 28. 10 с.
6. Технология создания комплексов управления многоцелевых беспилотных и пилотируемых аэрокосмических систем / М.М. Сильвестров, Ю.И. Бегичев, А.Г. Варочко и др.; под ред. М.М. Сильвестрова. М.: Изд-во МБА, 2014. 296 с.
7. Рубцов Е.А., Пономарев В.В., Юрловская Н.А. Применение оптических систем на этапе посадки воздушного судна // Актуальные вопросы исследований в авионике: мат. межд. науч.-практ. конф. Воронеж: ВУНЦ ВВС ВВА, 2019. С. 121-124.
8. Бондарев В.Г. Видеонавигация летательного аппарата // Научный вестник МГТУ ГА. Серия Авионика и

электротехника. 2015. № 213 С. 65-72.

9. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М.: Лань, 2018. 608 с.

10. Бондарев В.Г. Алгоритм системы технического зрения посадочного модуля // Механика, управление и информатика. 2013. № 1(13). С. 353-360.

Поступила 22.09.2019; принята к публикации 18.10.2019

Информация об авторах

Бондарев Валерий Георгиевич — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры эксплуатации авиационного оборудования факультета авиационного оборудования, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (394064, Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А), e-mail: vaiu@mil.ru

Смирнов Дмитрий Андреевич — курсант факультета авиационного оборудования, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (394064, Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А), e-mail: vaiu@mil.ru

Майгурова Нина Ивановна — научный сотрудник 21 отдела научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией ВВС), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (394064, Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А), e-mail: nina.vsu@gmail.com

Николенько Александр Владимирович — инженер 21 отдела научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией ВВС), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (394064, Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А)

Гусев Константин Юрьевич — канд. техн. наук, доцент кафедры электропривода, автоматики и управления в технических системах, Воронежский государственный технический университет (394026, Россия, г. Воронеж, Московский проспект, 14), тел. (473)243-77-20, e-mail: gusev_konstantin@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0517-5737>

Вахмин Сергей Юрьевич — канд. физ.-мат. наук, преподаватель кафедры физики и химии, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (394064, Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А), тел. 89081401791

UNMANNED AIRCRAFT TRACKING SYSTEM USING MONOCULAR TECHNICAL VISION SYSTEM IN A GYRO-STABILIZED SUSPENSION

V.G. Bondarev¹, D.A. Smirnov¹, N.A. Maygurova¹, A.V. Nikolenko¹, K.Yu. Gusev², S.Yu. Vakhmin¹

¹Military Scientific Educational Center of Military-Air Forces “N.E. Zhukovsky and Ju.A. Gagarin Military-Air Academy”, Voronezh, Russia

²Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Abstract: the structure of the monocular vision system in gyrostabilization and object tracking modes is presented. In the tracking mode of the object of interest, the image is processed to determine its coordinates on the photomatrix, and then the tracking process is reduced to such a movement of the cardan suspension frames, which ends with the specified position of the image on the photomatrix. At the same time, the development of such a position of the suspension frames is shown so that the image of a singular point, which is a simple model of objects of interest, always tends to the center of the photomatrix, which improves the image quality of the camera and reduces the level of vibration during the movement of aircraft. This allows one not only to monitor the object of interest, but also to escort and capture various objects, as well as to solve the problems of aircraft navigation using a monocular vision system in a gyro-stabilized suspension. A further development of the mode of tracking the object of interest is tracking an extended object, on which two or more special points can be distinguished, then all three frames of the gimbal are controlled and not only the linear, but also the angular position of the image of the object on the photomatrix is stabilized

Key words: monocular system, technical vision, tracking system, gyrostabilization mode, vibration level, lighthouse constellation

References

1. Williams K.W. “A summary of unmanned aircraft accident”, Incident data: human factors implications. Civil Aerospace Medical Institute, Oklahoma City, 2004, pp. 287-294.
2. Shivrinskiy V.N. “Aircraft navigation systems” (“Navigatsionnye sistemy letatel'nykh apparatov”), Ulyanovsk, UISTU, 2012, 149 p.
3. Alpatov B.A., Babayan P.V., Balashov O.E., Stepashkin A.I. “Methods for automatic detection and tracking of objects” (“Metody avtomaticheskogo obnaruzheniya i soprovozhdeniya ob'ektov”), Moscow, Radiotekhnika, 2008, 176 p.

4. Logvin A.I., Volkov A.V. "Algorithms for the automatic recognition of the runway on video images", *Scientific Bulletin of the MSTU GA (Nauchnyy vestnik MGTU GA)*, 2015, no. 213, pp. 115-117.
5. Bondarev V.G., Bondarev V.V., Bondarev M.V. "A method of measuring the coordinates of an object and a device for its implementation" ("Sposob izmereniya koordinat ob"ekta i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya"), pat. 2401436 Russian Federation, IPC7 G 01s 11/00. / No. 2008110814/09; bull. 28,10 p.
6. Sil'vestrov M.M., Begichev Yu.I., Varochko A.G. et al. "Technology for creating control systems for multi-purpose unmanned and manned aerospace systems" ("Tekhnologiya sozdaniya kompleksov upravleniya mnogotselevykh bespilotnykh i pilotiruemykh aerokosmicheskikh sistem"), Moscow, Publishing House of IBA, 2014, 296 p.
7. Rubtsov E.A., Ponomarev V.V., Yurlovskaya N.A. "The use of optical systems at the stage of aircraft landing", *Proc. of Int. Scientific-Practical Conf.: Actual Research Issues in Avionics (Aktual'nye voprosy issledovaniy v avionike: mat. mezhd. nauch.-prakt. konf.)*, Voronezh, 2019 pp. 121-124.
8. Bondarev V.G. "Video navigation of the aircraft", *Scientific Bulletin of the MSTU GA (Nauchnyy vestnik MGTU GA)*, 2015, no. 213, pp. 65-72.
9. Bronstein I.N., Semendyaev K.A. "A reference book in mathematics for engineers and students of technical colleges" ("Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchashchikhsya vtuzov"), Moscow, Lan', 2018, 608 p.
10. Bondarev V.G. "Algorithm of the vision system of the landing module", *Mechanics, Management and Computer Science (Mekhanika, upravleniye i informatika)*, 2013, no. 1 (13), pp. 353-360.

Submitted 22.09.2019; revised 18.10.2019

Information about the authors

Valeriy G. Bondarev, Cand. Sc. (Technical), Associate Professor, Military Scientific Educational Center of Military-Air Forces "N.E. Zhukovsky and Ju.A. Gagarin Military-Air Academy" (54 «A» Starykh Bolshevikov str., Voronezh 394064, Russia), tel. (473) 244-78-37, e-mail: bondarevstis@mail.ru

Dmitriy A. Smirnov, Student, Military Scientific Educational Center of Military-Air Forces "N.E. Zhukovsky and Ju.A. Gagarin Military-Air Academy" (54 «A» Starykh Bolshevikov str., Voronezh 394064, Russia), tel. (473) 244-78-37

Nina I. Maygurova, Researcher, Military Scientific Educational Center of Military-Air Forces "N.E. Zhukovsky and Ju.A. Gagarin Military-Air Academy" (54 «A» Starykh Bolshevikov str., Voronezh 394064, Russia), tel. (473) 244-78-37, e-mail: nina.vsu@gmail.com

Aleksandr V. Nikolenko, Engineer, Military Scientific Educational Center of Military-Air Forces "N.E. Zhukovsky and Ju.A. Gagarin Military-Air Academy" (54 «A» Starykh Bolshevikov str., Voronezh 394064, Russia), tel. (473) 244-78-37, e-mail: Nikolenko.Alexandr.93@yandex.ru

Konstantin Yu. Gusev, Cand. Sc. (Technical), Associate Professor, Voronezh State Technical University (14 Moskovskiy prospekt, Voronezh, 394026, Russia), tel. (473) 243-77-20, e-mail: gusev_konstantin@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-05175737>

Sergei Yu. Vakhmin Cand. Sc. (Phys.-Math.), Lecturer, Military Scientific Educational Center of Military-Air Forces "N.E. Zhukovsky and Ju.A. Gagarin Military-Air Academy" (54 «A» Starykh Bolshevikov str., Voronezh 394064, Russia), tel. 89081401791