

DOI: 10.17516/1999-494X-0231

УДК 629.73+681.7

The Method of Air Object Range Finding by Means of the Passive Single-Position Optoelectronic Complex

Aleksander I. Stuchilin* and Anton S. Ivanov

Close Joint-Stock Company Research

Centre "Resonance"

Moscow, Russian Federation

Received 03.02.2020, received in revised form 21.05.2020, accepted 15.07.2020

Abstract. The article is devoted to description of the method and the formula concerning air object (AO) range finding by means of the passive single-position optoelectronic complex (OEC). As there are no markers and signs in the air space, an air object proper size is used as a gauging distance unit. Determination of AO angular position relative to the OEC is carried out by the indirect method based on the analysis of its two-dimensional image on the photodetecting matrix and collation of the obtained data with the data held in the database. Determination of AO image linear dimensions is also based on the indirect method of required data obtaining by means of AO image analysis and its collation with AO reference 3D-model.

Keywords: optoelectronic complex, AO range finding, determination of AO angular position relative to the OEC, AO fuselage projection length, AO determination.

Citation: Stuchilin A.I., Ivanov A.S. The method of air object range finding by means of the passive single-position optoelectronic complex, J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol., 2020, 13(5), 554-567. DOI: 10.17516/1999-494X-0231

© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

* Corresponding author E-mail address: res69e6@mail.ru

Метод определения дальности воздушного объекта пассивным однопозиционным оптико-электронным комплексом

А.И. Стучилин, А.С. Иванов
*Закрытое акционерное общество
Научно-исследовательский центр «Резонанс»
Российская Федерация, Москва*

Аннотация. В статье описан метод и приведена формула для определения дальности воздушного объекта (ВО) пассивным однопозиционным оптико-электронным комплексом (ОЭК). Так как в воздушном пространстве отсутствуют какие-либо маркеры и метки, в качестве калибровочной меры расстояния используются собственные размеры воздушного объекта. Определение углового положения ВО относительно ОЭК осуществляют косвенным методом на основе анализа его двумерного изображения на фотоприемной матрице (ФМ) и сопоставления полученных данных с данными, хранящимися в базе. Определение линейных размеров изображения ВО также основано на косвенном методе получения необходимых данных путем анализа изображения ВО и сравнения его с изображениями эталонной 3D-модели ВО.

Ключевые слова: оптико-электронный комплекс, определение дальности ВО, определение углового положения ВО в пространстве относительно ОЭК, определение длины проекции фюзеляжа ВО, идентификация ВО.

Цитирование: Стучилин, А.И. Метод определения дальности воздушного объекта пассивным однопозиционным оптико-электронным комплексом / А.И. Стучилин, А.С. Иванов // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2020. 13(5). С. 554-567. DOI: 10.17516/1999-494X-0231

При разработке пассивных однопозиционных ОЭК разведки воздушного пространства имеется проблема, связанная с определением дальности до ВО. Суть проблемы заключается в том, что прямое измерение дальности в десятки километров до ВО пассивным однопозиционным ОЭК при отсутствии лазерного дальномера или зондирующего импульса является практически трудноосуществимым. Особенно если это необходимо делать в реальном режиме времени от кадра к кадру. Причем эта проблема особенно актуальна в том плане, что решение ее, по сути, определяет реализуемость пассивного однопозиционного ОЭК как средства разведки воздушного пространства.

Вопросам определения дальности до объектов оптическими устройствами уделяется много внимания. В настоящее время существуют различные методы и способы определения дальности до объектов с помощью пассивных оптических устройств, которые можно классифицировать на три большие группы: первая группа – методы и способы на основе стереозрения [1-10]; вторая группа – на основе калибровки расстояния путем перемещения объектива оптического устройства на определенное расстояние или изменения фокусного расстояния объектива [11, 12]; третья группа – на основе использования в качестве калибровочной меры расстояния собственных размеров объекта [13-15].

Однако все вышеприведенные методы и способы, каждый по своим причинам, не могут быть использованы для определения дальности до ВО: первые – из-за требования иметь очень большую базу при работе ОЭК на расстояния в десятки километров; вторые – из-за отсутствия

возможности оперативно калибровать оптическое устройство ОЭЖ путем его перемещения на требуемые расстояния; третьи – из-за невозможности их применения в реальном режиме работы ОЭЖ.

Поэтому требуется разработка такого метода определения дальности до ВО, который позволял бы решать поставленную задачу в реальном режиме времени от кадра к кадру без дополнительных операций по калибровке оптического устройства однопозиционного пассивного ОЭЖ. В [16] показано, что в пассивном однопозиционном ОЭЖ определение дальности D [км] до ВО при известных их размерах осуществляется на основании выражения:

$$D = \frac{fL_{\text{во}}}{1000l_{\text{во}}}, \quad (1)$$

где f [мм] – фокусное расстояние объектива оптического устройства ОЭЖ; $L_{\text{во}}$ [м] – размер ВО; $l_{\text{во}}$ [мм] – ширина проекции ВО на ФМ.

Видно, что в качестве калибровочной меры при определении дальности до ВО в воздушном пространстве, лишенном каких-либо меток и маркеров, выступают его собственные габаритные характеристики. Таковыми характеристиками могут быть размах крыла $L_{\text{кр}}$, длина фюзеляжа $L_{\text{ф}}$ ВО (рис. 1).

В [17] показано, что наиболее предпочтительной в качестве калибровочной меры для определения дальности до ВО является длина его фюзеляжа. Это обусловлено тем фактором, что форма фюзеляжа обладает инвариантностью к ракурсу наблюдения ВО, что обеспечивает в большинстве случаев наблюдения ВО в пространстве относительно ОЭЖ однозначность опре-

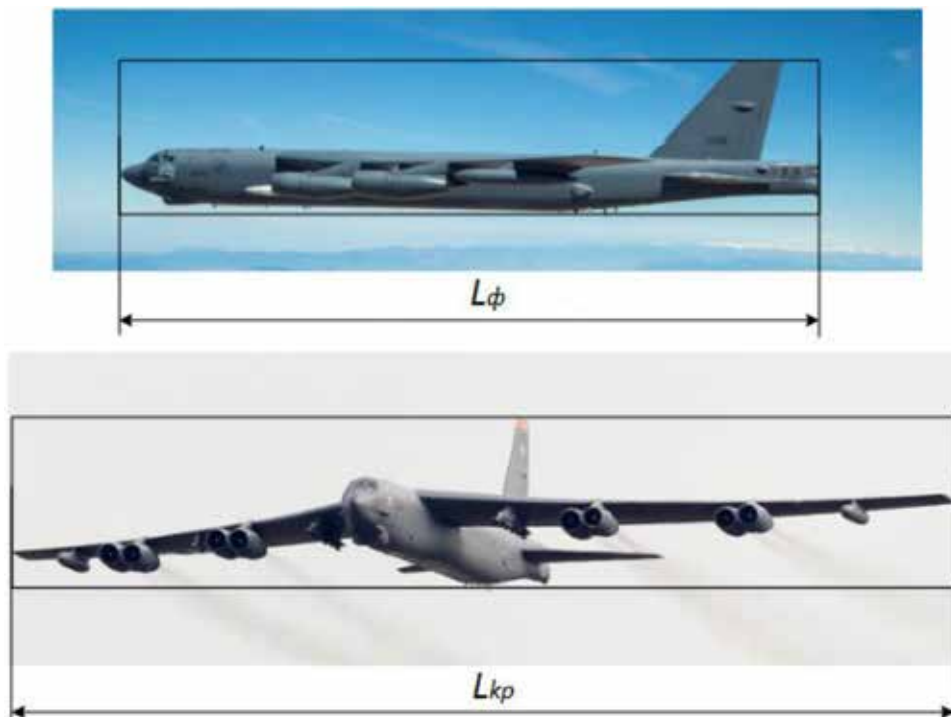


Рис. 1. Габаритные характеристики ВО

Fig. 1. AO overall dimensions

деления длины проекции ВО на ФМ и, соответственно, более высокую точность определения дальности до ВО.

В полете положение ВО относительно ОЭК постоянно изменяется. Соответственно, изменяется и длина проекции фюзеляжа ВО на ФМ. На рис. 2 изображено, что при расположении ВО под какими-либо углами к линии визирования ОЭК длина проекции его фюзеляжа l_{ϕ} на изображении меньше длины проекции фюзеляжа при расположении ВО в пространстве по нормали к линии визирования ОЭК, что соответствует максимальной длине его проекции $l_{\phi_{\text{м}}}$ на ФМ (рис. 3).

Поэтому для правильного определения дальности до ВО необходимо учитывать угловые параметры положения ВО в полете относительно ОЭК: углы рыскания, тангажа и крена, которые определяется как углы между осями связанной ($0XYZ$) системы координат и земной ($0X_gY_gZ_g$). Центр 0 связанной системы осей координат помещен в центр масс ВО, ось $0X$ направлена от хвостовой к носовой части ВО, ось $0Z$ перпендикулярна оси $0X$, направлена в сторону правой консоли крыла ВО, ось $0Y$ перпендикулярна плоскости $X0Z$ и направлена вверх (рис. 4).

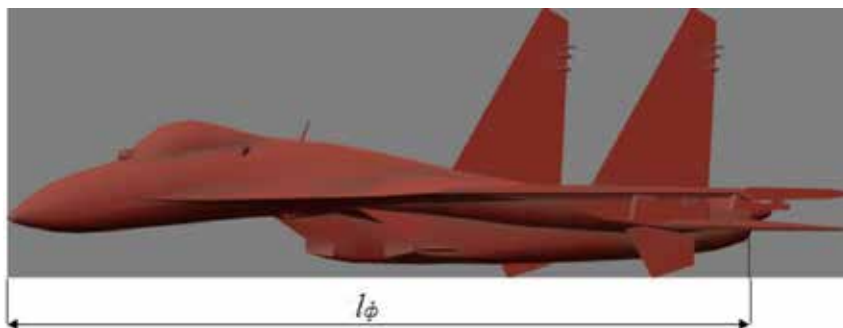


Рис. 2. Вид проекции ВО на фотоприемной матрице

Fig. 2. AO projection image on photodetecting matrix

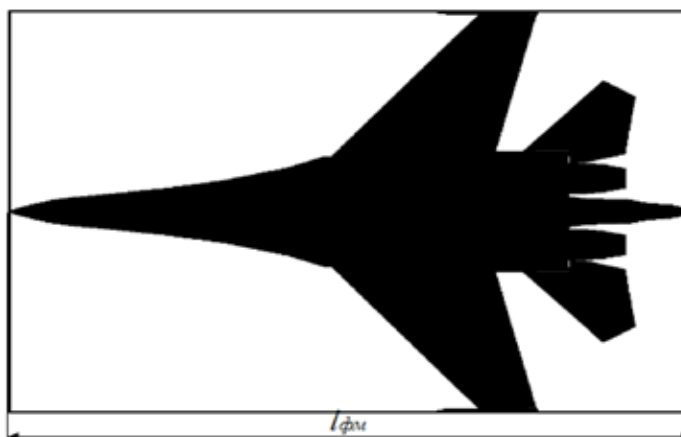


Рис. 3. Вид проекции ВО при положении к линии визирования ОЭК по нормали

Fig. 3. AO projection image in case of its normal position to the OEC line of sight

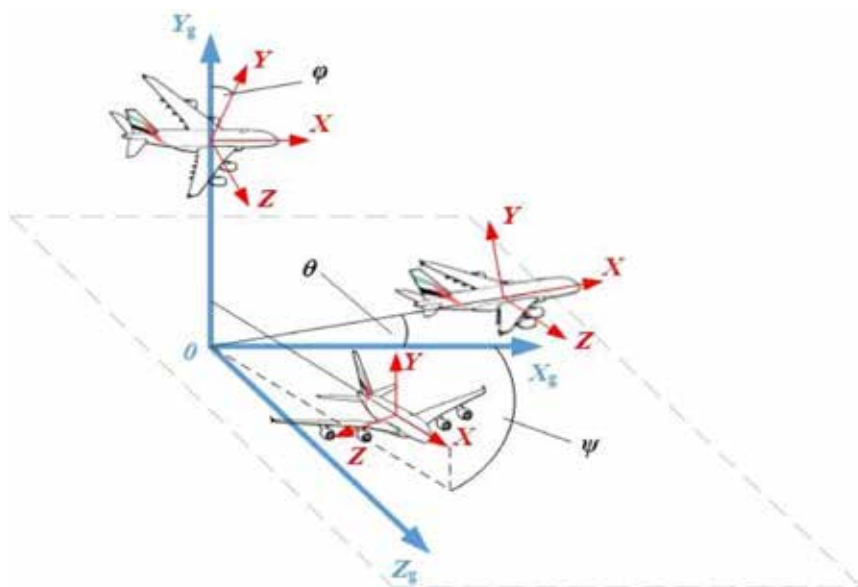
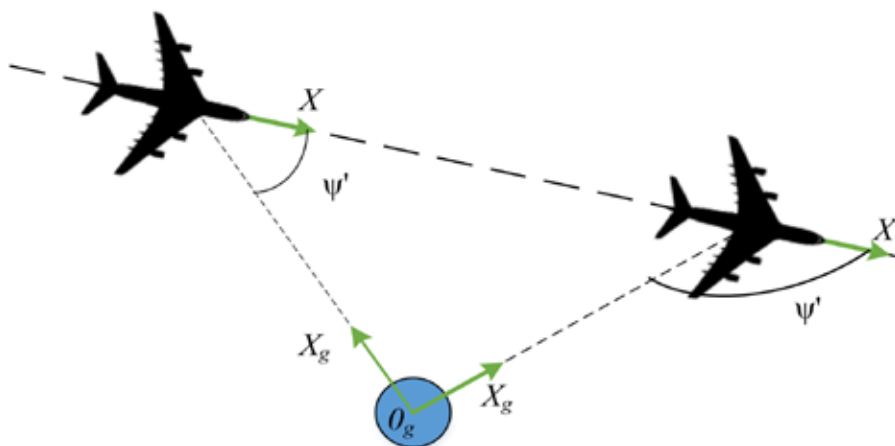


Рис. 4. Положение ВО относительно Земли в связанной системе координат

Fig. 4. AO position relative to the Earth in the fixed coordinate system

Так как для решения задачи определения дальности до ВО необходимо знать углы ориентации ВО в связанной системе координат относительно линии визирования ОЭЖ, а не земной поверхности, то будем использовать понятия углов псевдори́скания ψ' и псевдотангажа θ' . Необходимость использования данных параметров вызвана тем, что если во время полета ВО располагается под какими-либо углами относительно Земли, то относительно ОЭЖ эти углы будут иметь другие значения (рис. 5–7). При этом нуль углов псевдори́скания ψ' и псевдотангажа θ' соответствует направлению полета ВО, когда ось OX связанной системы координат направлена по линии визирования на ОЭЖ.

Рис. 5. Угол псевдори́скания ВО ψ' при движении относительно ОЭЖFig. 5. AO pseudoyawing angle ψ' when moving relative to OEC

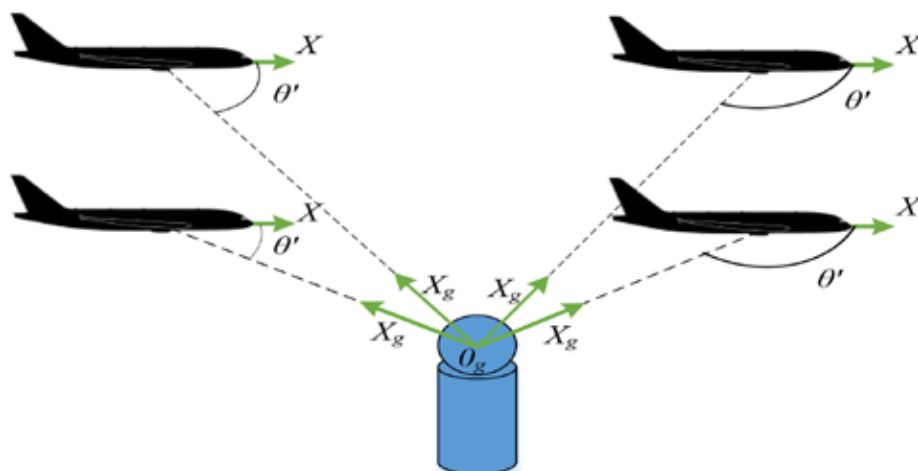


Рис. 6. Угол псевдотангажа ВО θ' при движении относительно ОЭЖ

Fig. 6. AO pseudopitching angle θ' when moving relative to OEC

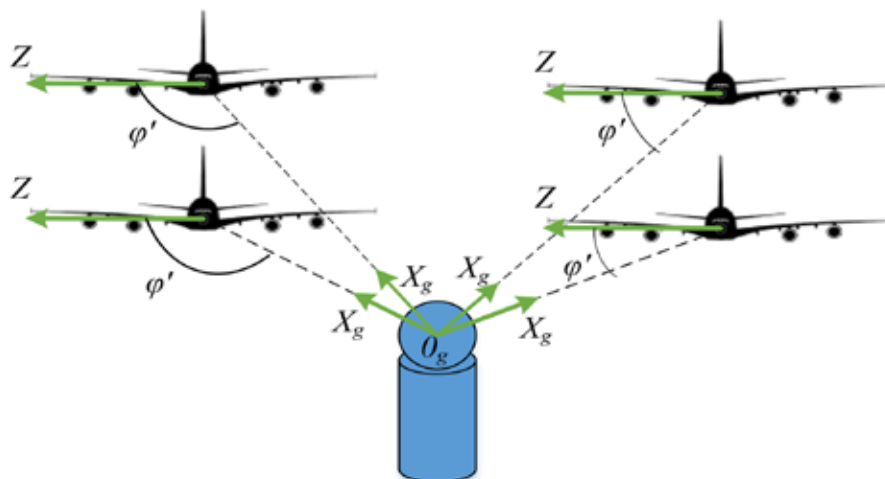


Рис. 7. Угол псевдокрена ВО φ' при движении относительно ОЭЖ

Fig. 7. AO pseudoswinging angle φ' when moving relative to OEC

Учет положения ВО относительно ОЭЖ осуществляется путем условного поворота фюзеляжа ВО до нормали к линии визирования ОЭЖ следующим образом:

$$L_{\phi BO} = L_{\phi BOmax} \cos \theta' \sin \psi', \quad (2)$$

где $L_{\phi BOmax}$ [м] – длина фюзеляжа ВО согласно его техническому паспорту; θ' [рад] – угол псевдотангажа ВО; ψ' [рад] – угол псевдорыскания ВО.

С учетом (2) выражение (1) запишем в следующем виде:

$$D = \frac{f L_{\phi BOmax} \cos \theta' \sin \psi'}{1000 t_{\phi}}. \quad (3)$$

Для определения дальности до ВО согласно (3) необходимо знать длину фюзеляжа конкретного типа ВО $L_{\phi BO_{max}}$ согласно его техническому паспорту, положение ВО в пространстве относительно ОЭК: углы псевдорыскания ψ' и псевдотангажа θ' , а также длину проекции фюзеляжа ВО на изображении l_{ϕ} .

Максимальную длину фюзеляжа ВО $L_{\phi BO_{max}}$, как паспортное значение для каждого конкретного типа ВО, заносят в таблицу данных реляционной базы данных ОЭК и вызывают для расчетов по первичному ключу, соответствующему типу этого ВО. Определение типа ВО осуществляется автоматически на основе работы алгоритмов сверточных нейронных сетей [18] или полуавтоматически на основе экспертно-аналитического метода идентификации ВО [19, 20].

Значения параметров положения ВО в пространстве относительно ОЭК (углы псевдорыскания ψ' и псевдотангажа θ') определяют косвенным методом на основе сравнения характеристик изображения реального ВО на ФМ и изображения его цифровой 3D-модели [21]. Такой подход выбран в связи с тем, что провести прямые измерения угловых параметров положения ВО в пространстве с помощью пассивного однопозиционного ОЭК не представляется возможным. Также невозможно определить эти параметры и по двумерному изображению ВО на ФМ.

Суть метода определения угловых параметров положения ВО в пространстве относительно ОЭК заключается в сравнении относительных характеристик изображения этого ВО, полученного на ФМ, с характеристиками эталонных изображений его 3D-модели, находящимися в таблице данных характеристик таких изображений базы данных ОЭК. При совпадении характеристик изображения реального ВО на ФМ с какими-либо характеристиками эталонного изображения 3D-модели этого ВО принимается решение о соответствии положения ВО в пространстве относительно ОЭК положению ВО с конкретными значениями углов псевдорыскания ψ' и псевдотангажа θ' . В результате из базы данных характеристик эталонных изображений 3D-модели ВО вызываются соответствующие значения углов псевдорыскания ψ' и псевдотангажа θ' .

Для работы метода предварительно необходимо подготовить требуемые данные. Первоначально создается 3D-модель конкретного типа ВО, которая является его точной электронной копией. Такая 3D-модель для конкретного типа реального ВО считается для него эталонной и используется для наработки базы данных характеристик эталонных изображений ВО, соответствующих его различным положениям в пространстве. Нарботка такой базы данных осуществляется путем вращения 3D-модели ВО по углам рыскания, тангажа и крена с заданным шагом вращения. При этом эталонное изображение 3D-модели ВО должно быть вписано в прямоугольник, стороны которого описывают крайние точки изображения ВО и параллельны сторонам фотоприемной матрицы и экрана компьютера, на котором производится подготовка данных (рис. 8).

Эталонное изображение 3D-модели ВО бинаризируется путем перевода в черно-белый цвет, где один цвет соответствует проекции модели ВО, а другой – оставшейся площади прямоугольника. По полученному таким образом изображению определяют первичные ключи базы данных характеристик эталонных изображений 3D-модели ВО при различных ее положениях в пространстве: доля площади ВО на изображении $S_{ВОД}$ [%], координаты центра масс этой площади $x_{цм}$, $y_{цм}$, а также ширина W и высота H изображения ВО [пикс], коэффициенты отношения



Рис. 8. Изображение 3D-модели воздушного объекта типа Airbus A-380

Fig. 8. AO 3D-model image of Airbus A-380 type

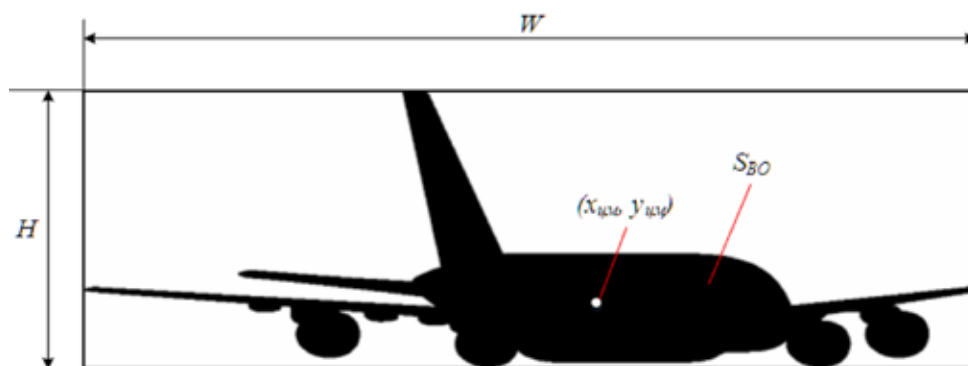


Рис. 9. Характеристики изображения воздушного объекта

Fig. 9. AO image features

ширины и высоты изображения ВО к значениям соответствующих координат центра масс K_x и K_y , коэффициент отношения ширины изображения к его высоте K_{WH} . Значения характеристик эталонных изображений 3D-модели ВО $S_{ВО}$, $x_{цм}$, $y_{цм}$, W и H определяют с помощью специализированного программного обеспечения в результате обработки изображения 3D-модели ВО (рис. 9).

Доля площади ВО $S_{ВОД}$ и соответствующие коэффициенты определяются по следующим формулам:

$$S_{ВОД} = \frac{S_{ВО}}{WH} \cdot 100 \%, \quad (4)$$

$$K_x = \frac{W}{x_{цм}}, \quad K_y = \frac{H}{y_{цм}}, \quad K_{WH} = \frac{W}{H}. \quad (5)$$

В соответствующую таблицу данных базы данных характеристик эталонных изображений 3D-модели ВО для каждого положения 3D-модели ВО в пространстве записывают соответствующие значения углов псевдорыскания ψ' и псевдотангажа θ' . Для каждого конкретного типа ВО формируется своя таблица данных эталонных изображений 3D-модели ВО.

Длина горизонтальной проекции фюзеляжа реального ВО на ФМ l_ϕ определяется следующим образом. Перед измерением длины проекции фюзеляжа реального ВО на ФМ l_ϕ изображе-



Рис. 10. Вид изображения реального ВО на ФМ при оконтуривании

Fig. 10. Actual AO image (contoured) on photodetecting matrix

ние ВО оконтуривают по крайним точкам прямоугольником, стороны которого параллельны сторонам ФМ. Очевидно, что прямое измерение длины проекции фюзеляжа реального ВО на ФМ l_ϕ практически невозможно. Это связано с трудностями точного выделения на двумерном изображении ВО на ФМ изображения фюзеляжа, когда ВО находится в пространстве под какими-либо углами относительно ОЭК (рис. 10).

Поэтому после оконтуривания изображения реального ВО на ФМ измеряют не длину горизонтальной проекции фюзеляжа l_ϕ , а ширину проекции ВО w_p при его определенном положении в пространстве.

Для оптического устройства ОЭК справедливо утверждение: размер ВО пропорционален ширине проекции ВО w_p с коэффициентом пропорциональности, равным масштабу изображения $m_{\text{ОЭК}}$ оптического устройства ОЭК.

$$L_{\text{ВО}} = m_{\text{ОЭК}} w_p. \quad (6)$$

Масштаб изображения $m_{\text{ОЭК}}$ определяется как отношение расстояния до ВО D к главному расстоянию s (фокусное расстояние объектива f + дополнительный сдвиг для обеспечения фокусировки Δf). Он также может быть определен как отношение размера ВО $L_{\text{ВО}}$ к соответствующему его размеру на ФМ, в данном случае к ширине его проекции на ФМ w_p . При этом предполагается, что плоскость, в которой производится полет ВО, параллельна плоскости ФМ, что справедливо при больших дальностях полета ВО по сравнению с фокусным расстоянием оптического устройства ОЭК.

$$m_{\text{ОЭК}} = \frac{D}{f + \Delta f} = \frac{L_{\text{ВО}}}{w_p} = \frac{L_{\text{фво}}}{l_\phi}. \quad (7)$$

Тогда формула для определения дальности до ВО запишется в виде

$$D = \frac{(f + \Delta f) L_{\text{воmax}} \cos \theta' \sin \psi'}{1000 w_p} = \frac{(f + \Delta f) L_{\text{фвоmax}} \cos \theta' \sin \psi'}{1000 l_\phi}. \quad (8)$$

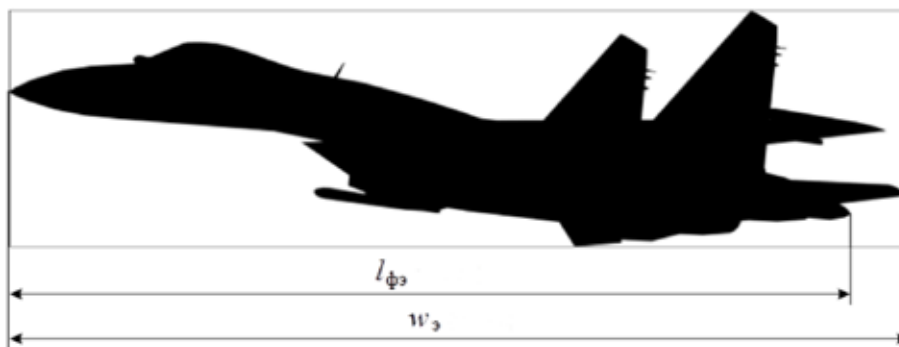


Рис. 11. Вид изображения эталонной 3D-модели ВО

Fig. 11. AO reference 3D-model image

Для перехода от параметра ширина проекции ВО на ФМ w_p к параметру длина горизонтальной проекции фюзеляжа l_ϕ воспользуемся свойством подобия изображений реального ВО на ФМ и его эталонной 3D-модели при одном и том же положении ВО и эталонной 3D-модели в пространстве относительно линии визирования ОЭК. При этом имеет место свойство пропорциональности значений ширины изображения реального ВО на ФМ w_p и изображения эталонной 3D-модели этого ВО $w_э$ на экране компьютера, на котором осуществляется обработка этой модели, к соответствующим длинам проекций фюзеляжа l_ϕ и $l_{\phi_э}$ (рис. 10 и 11).

$$\frac{w_p}{l_\phi} = \frac{w_э}{l_{\phi_э}}, \quad (9)$$

где $w_э$ [мм] – ширина изображения эталонной 3D-модели ВО; w_p [мм] – ширина проекции реального ВО на ФМ; $l_{\phi_э}$ [мм] – длина горизонтальной проекции фюзеляжа эталонной 3D-модели ВО; l_ϕ [мм] – длина горизонтальной проекции фюзеляжа реального ВО на ФМ.

Из (9) определим выражение для l_ϕ :

$$l_\phi = \frac{l_{\phi_э} w_p}{w_э}. \quad (10)$$

После подстановки (10) в (8) выражение (8) преобразуется в следующий вид:

$$D = \frac{(f + \Delta f) l_{\phi_{эmax}} \cos \theta' \sin \psi' w_э}{1000 l_{\phi_э} w_p}. \quad (11)$$

Значения $l_{\phi_э}$, $l_{\phi_{эmax}}$ и $w_э$ эталонного изображения 3D-модели ВО определяются с помощью специализированного ПО и записываются в базу данных характеристик эталонных изображений 3D-модели ВО на этапе подготовки данных, как это описано ранее.

Учитывая, что

$$l_{\phi_э} = l_{\phi_{эmax}} \cos \theta' \sin \psi', \quad (12)$$

после подстановки (12) в (11) преобразуем в выражение вида

$$D = \frac{(f + \Delta f) l_{\phi_{эmax}} w_э}{1000 l_{\phi_{эmax}} w_p}. \quad (13)$$

Таким образом, выражение (13) позволяет определить дальность до ВО, не определяя значения угловых параметров положения ВО в пространстве. Эти значения косвенно заложены в значениях ширин изображений ВО и его эталонной 3D-модели.

Значения длины фюзеляжа изображения $l_{фэмак}$ и ширины $w_э$ эталонной 3D-модели ВО, ширины изображения реального ВО на ФМ w_p определяют через параметры ФМ и экрана компьютера, на котором производится обработка изображений эталонной 3D-модели ВО, следующим образом:

$$l_{фэмак} = \frac{r_{pc} n_{pcl_{фэмак}}}{1000} w_э = \frac{r_{pc} n_{pcw_э}}{1000} w_p = \frac{r_{фм} n_{фmw_p}}{1000}, \quad (14)$$

где r_{pc} [мкм] – размер пикселя экрана рабочего места компьютера, на котором производится обработка эталонной 3D-модели ВО; $r_{фм}$ [мкм] – размер пикселя фотоприемной матрицы ОЭЖ; $n_{pcl_{фэмак}}$ – количество пикселей в максимальной длине изображения фюзеляжа эталонной 3D-модели ВО на экране рабочего места компьютера; $n_{pcw_э}$ – количество пикселей в ширине изображения эталонной 3D-модели ВО на экране рабочего места компьютера; $n_{фmw_p}$ – количество пикселей в ширине изображения ВО на ФМ.

С учетом (14) выражение (13) примет вид

$$D = \frac{(f + \Delta f) l_{фэмак} n_{pcw_э}}{n_{pcl_{фэмак}} r_{фм} n_{фmw_p}}. \quad (15)$$

Применение выражения (15) для определения дальности до ВО сводится к следующим последовательным процедурам: идентификация типа ВО, оконтуривание изображения ВО и определение его характеристик, вызов по первичным ключам данных из соответствующих таблиц базы данных параметров изображений ВО, измерение ширины изображения ВО на ФМ и собственно расчет дальности до ВО. Все эти процедуры четко определены, свободно программируются, требуют мало времени на их реализацию. Применение рассмотренного метода на практике показало, что задача определения дальности до ВО решается в режиме времени от кадра к кадру.

Также следует иметь в виду, что выражение (15) является инвариантным к выбору экрана компьютера, на котором производится обработка эталонных 3D-моделей ВО. Для такой обработки можно выбирать любой подходящий экран рабочего места компьютера. Количество пикселей параметров изображений реального ВО и эталонной 3D-модели ВО определяется путем прямого подсчета в границах прямоугольника, описывающего соответствующие изображения по их крайним точкам.

В заключение следует отметить, что формула (15) позволяет с высокой точностью определять дальность до ВО с учетом его положения в пространстве относительно пассивного однопозиционного ОЭЖ, находящегося на Земле. Ошибки определения дальности до ВО на основе предложенных методов измерений в ходе натурных испытаний в рамках НИР «Взгляд» составляли десятки метров на дальностях обнаружения ВО до 50 км. Пример сопровождения ВО пассивным однопозиционным ОЭЖ приведен на рис. 12. Показаны экраны рабочего места оператора пассивного однопозиционного ОЭЖ: экран захвата и идентификации ВО (справа) и экран сопровождения трассы ВО (слева).

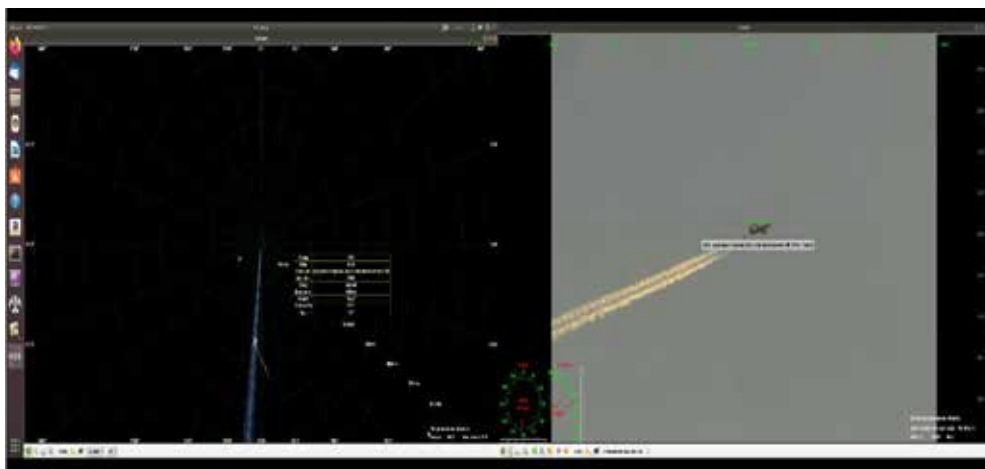


Рис. 12. Вид экранов рабочего места оператора пассивного однопозиционного ОЭК

Fig. 12. Single-position OEC OWS screen images

Список литературы / References

[1] Шапиро Л., Стокман Дж. *Компьютерное зрение*. Пер. с англ. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. 752 с. [Shapiro L., Stockman J. *Computer vision*. М., Laboratorya znany, 2006. 752 p. (in Russian)]

[2] Вахитов А.Т., Гуревич Л.С., Павленко Д.В. Обзор алгоритмов стереозрения. *Стохастическая оптимизация в информатике*, 2008, 4(1-1), 151-169 [Vakhitov A.T., Gourevitch L.S., Pavlenko D.V. Stereovision algorithms survey, *Stochastic optimization in information science*, 2008, 4(1-1), 151-169 (in Russian)]

[3] Котюжанский Л.А. Вычисление карты глубины стереоизображения на графическом процессоре в реальном времени. *Фундаментальные исследования*, 2012, 6, 444-449 [Kotyujansky L.A. Calculation of stereovision map depth on the graphical processor on-line. *Fundamental research*, 2001, 6, 444-449 (in Russian)]

[4] Быков С.А., Еременко А.В., Гаврилов А.Е., Скакунов В.Н. Адаптация алгоритмов технического зрения для систем управления шагающими машинами. *Известия Волгоградского государственного технического университета*, 2011, 3(10), 52-56 [Bykov S.A., Eremanko A.V., Gavrilov A.E., Skakunov V.N. Adaptation of computer vision algorithms for walkers control systems. *News of Volgograd state technical university*, 2011, 3(10), 52-56 (in Russian)]

[5] Виголов О.В., Желтов С.Ю. Система стереозрения мобильного робота для обнаружения препятствия в режиме реального времени. *Механика, управление и информатика*, 2011, 6, 202-215 [Vygolov O.V., Zheltov S.Yu., Vizil'ter Yu.V. Mobile robot stereovision system for real-time obstacle detection. *Mechanics, management and informatics*, 2011, 6, 202-215 (in Russian)]

[6] Локтев Д.А., Алфимцев А.Н. Измерение расстояния до движущегося объекта с помощью комплексной системы видеомониторинга. *Инженерный журнал. Наука и инновации*, 2013 [Loktev O.V., Alfimtsev A.N. Measuring a distance to a moving object by means of video monitoring complex system. *Engineering journal. Science and innovation*, 2013 (in Russian)]

[7] Соколов С.М., Богуславский А.А., Васильев А.И., Трифонов О.В., Назаров В.Г., Фролов Р.С. Мобильный комплекс для оперативного создания и обновления навигационных карт. *Известия Южного федерального университета, Технические науки*, 2011, 116(3), 157-166 [Sokolov S.M., Bogouslavsky A.A., Vasiliev A.I., Triphonov O.V., Nazarov V.G., Frolov R.S. Mobile complex for efficient creation and renewal of navigation maps. *News of South Federal University. Technical sciences.*, 2011, 116(3), 157-166 (in Russian)]

[8] Патент № 2095756 С1 МПК G01C 3/32 (1995.01). Способ определения расстояния до объекта [Patent № 2095756 С1 МПК G01C 3/32 (1995.01). Method of finding the distance to the object (in Russian)]

[9] Европейский патент № EP 0379425, МПК G01C 3/18, G01S 11/12, на изобретение “System for determining the position of at least one target by means of triangulation” [European patent № EP 0379425, МПК G01C 3/18, G01S 11/12 for invention. “System for determining the position of at least one target by means of triangulation” (in Russian)]

[10] Стрельцов О.В., Даниленко А.О. Методы определения расстояния до препятствия при движении мобильного робота. *Работы Одесского политехнического университета*, 2013, 2(41) [Streltsov O.V., Danilenko A.O. Methods of finding the distance to an obstacle when a mobile robot is moving. *Studies by Odessa polytechnic university*, 2013, 2(41) (in Russian)]

[11] Литвин М.М., Одегов В.В., Елманов С.А. *Способ определения расстояния до объекта при помощи оптического прибора*. Патент Российской Федерации № 2095756 от 10.11.1997 [Litvin M.M., Odegov V.V., Elmanov S.A. Method of finding the distance to an object by means of an optic device. RF patent № 2095756 from 10.11.1997 (in Russian)]

[12] Зуев С.В. Патент [RU 2340872 С1, МПК G01C 3/32 (2006.01), опубл. 10.12.2008] [Zuev S.V. Patent [RU 2340872 С1, МПК G01C 3/32 (2006.01), publ. 10.12.2008(in Russian)]

[13] Абрамов Н.С., Фраленко В.П. Определение расстояний на основе системы технического зрения и метода инвариантных моментов. *Информационные технологии и вычислительные системы*, 2012, 4 [Abramov N.S., Fralenko V.P. Finding the distances on the base of computer vision system and invariant moments method. *Information technologies and computer systems*, 2012, 4 (in Russian)]

[14] Локтев Д.А. *Разработка и исследование методов определения параметров статических и движущихся объектов в системе мониторинга*. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2015 г. [Loktev D.A. Development and study of parameters of static and moving objects in monitoring system. Ph.D thesis, 2015].

[15] Лазарев Л.П. *Оптико-электронные приборы наведения*. М.: Машиностроение, 1989, 512 с. [Lazarev L.P. Guidance optoelectronic equipment. Machinostroeniye, 1989, 512 p. (in Russian)]

[16] Стучилин А.И., Чернявский В., Моисеенко П., Золотухин В.К. *Способ определения дальности до движущегося воздушного объекта методом пассивной локации*. Патент на изобретение № 2603998 от 30.06.2016 [Stuchilin A.I., Chernyavsky V., Moiseenko P., Zolotukhin V.K Method of moving AO range detection by a passive location method. Patent for invention № 2603998 от 30.06.2016 (in Russian)]

[17] Золотухин В.К., Стучилин А.И. *Теоретические основы идентификации типа и государственной принадлежности воздушных судов*. Тверь: Издатель А.Н. Кондратьев, 2019, 327 с.

[Zolotukhin V.K., Stuchilin A.I. Theoretical basics for aircraft nationality and type identification. Tver. Publ. A.N. Kondratyev, 2019, 327 p. (in Russian)]

[18] Стучилин А.И. Применение сверточных нейронных сетей для идентификации типов воздушных объектов в оптико-электронном комплексе. *Вестник Военной академии воздушно-космической обороны*. Вып. 1. Тверь: ВА ВКО, 2018, с. 48-53 [Stuchilin A.I. CNN application for AO type identification in the OEC. Herald of Military Aerospace Defence Academy. Edition 1. Tver: VA VKO, 2018, p. 48-53 (in Russian)]

[19] Стучилин А.И. Экспертно-аналитический метод идентификации типов ВО в ОЭЖ на основе экспертной базы знаний. *Вестник войсковой ПВО*, Смоленск: ВА ВПВО ВС РФ, секретно, инв. № 23084, с. 181-185 [Stuchilin A.I. Expert-analytical method of AO type identification in the OEC on the base of expert knowledgebase. *AD Army Herald*, Smolensk. VA ВПВО ВС РФ, secret, inv. № 23084, p. 181-185 (in Russian)]

[20] Ларичев О.И., Мечитов А.И., Мошкович Е.М., Фуремс Е.М. *Выявление экспертных знаний*. М.: Наука, 1989, с. 128 [Larichev O.I., Mechitov A.I., Moshkovitch E.M., Fouremis E.M. Expert knowledge determination. M. Science, 1989, p. 128 (in Russian)]

[21] Иванов А.С., Стучилин А.И. Метод определения значений угловых параметров положения воздушного объекта в пространстве на основе анализа его изображения. *Вестник войсковой ПВО*. Смоленск. ВА ВПВО ВС РФ, секретно, инв. № 23573, 2019, с. 49-56 [Ivanov A.S., Stuchilin A.I. AO position angular parameters determination method on the basis of its image analysis. *AD Army Herald. Smolensk*, secret, inv. № 23573, 2019, p. 49-56 (in Russian)]