

§ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ефимов Н.А., Золотов О.К.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ОСИ ПО ТРЕМ И БОЛЕЕ ОРИЕНТИРАМ

Аннотация: Предметом исследования является процедура определения точного положения оптической оси кино(видео)камеры, необходимого для ее применения в экспериментальных исследованиях и при испытаниях сложных систем. Расчет оптической оси можно провести по заранее заданным ориентирам (реперным точкам) – такой подход является эффективным при использовании стационарных оптических измерительных пунктов. Применительно к использованию кино(видео)камер разработан оригинальный метод получения угловых координат по трем ориентирам, позволяющий рассчитать оптическую ось кино(видео)камеры по априорно заданным ориентирам (реперным точкам). Методология исследования объединяет методы вычислительной математики, физической оптики, аналитической геометрии, теории надежности, метрологии и испытаний авиационной техники. Новизна исследования заключается в разработке метода, позволяющего вычислить угол наклона видеокамеры только по величинам углов между осями координат и проекциями оптической оси на координатные плоскости. При этом ошибка расчетов (погрешность вычислений) на эталонных примерах не превышает трех угловых секунд, что удовлетворяет требованиям многих экспериментальных исследований и испытаний сложных систем.

Ключевые слова: оптическая ось кинокамеры, определение оптической оси, пространственные координаты, реперные точки, угол наклона видеокамеры, угловые координаты, пространственное положение видеокамеры, пересчет координат, привязка оптической оси, позиционирование видеокамеры

Abstract: The subject of research is increasing the accuracy of determining the exact position of the optical axis of a movie (video) camera, required for its use in experimental studies and tests of complex systems. The calculation of the optical axis can be carried out at predetermined reference points (reference points). This approach is effective when using stationary optical measuring

points. With regard to the use of movie (video) cameras the authors developed an original method for obtaining the angular coordinates using three reference points, which allows calculating the optical axis of a movie (video) camera on a priori given reference points. The research methodology combines the methods of computational mathematics, physical optics, analytical geometry, reliability theory, metrology and testing aircraft. The novelty of the research is in development of a method for calculating the angle of the camera only from the values of the angles between the axes and the projection of the optical axis on the coordinate plane. The calculation errors in the reference examples does not exceed three arc seconds, which satisfies the needs of many experimental studies and tests of complex systems.

Keywords: conversion of coordinates, spatial position of the camera, angular coordinates, camera angle, reference points, space coordinates, definition optical axis, optical axis of the cameras, binding to the optical axis, positioning your camcorder

В настоящее время для получения информации при испытаниях техники в различных отраслях промышленности используют не только стационарные оптические измерительные пункты, но и портативные кино(видео)камеры [1-3]. Для успешной обработки полученных видеоматериалов требуется определение точного положения оптической оси кинокамеры [5-10]. Расчет оптической оси можно провести по заранее заданным ориентирам (реперным точкам). В работе приводится метод получения угловых координат по трем ориентирам (рис.1).

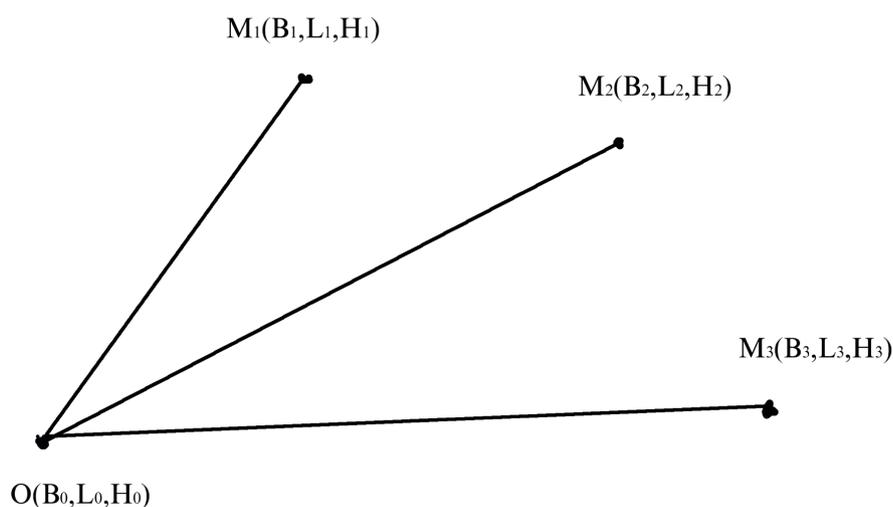


Рисунок 1 – Схема расположения трех ориентиров

Перед работой устанавливаются ориентиры (M_1, M_2, M_3), исходя из требований безопасности и условий эксперимента. Аппаратурой GPS для каждого ориентира и точки установки кинокамеры (O) определяются B_i, L_i, H_i (местоположение объекта), которые пересчитываются в общеземную систему координат ПЗ-90 [11]:

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 (\sin B_{0i})^2}}$$

$$X_{0i} = (N + H_{0i}) \cos B_{0i} \cos L_{0i};$$

$$Y_{0i} = (N + H_{0i}) \cos B_{0i} \sin L_{0i};$$

$$Z_{0i} = [(1 - e^2)N + H_{0i}] \sin B_{0i},$$

где $e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$; a, b – большой и меньший радиусы земного эллипсоида.

Рассчитываем координаты точек в местной системе координат (МСК) с центром в точке установки кинокамеры (X_0, Y_0, Z_0) по формулам [12]:

для точки O (точки установки кинокамеры): $X_0=0; Y_0=0; Z_0=0$;

для реперной точки M_1 : $X_1=X_{01}-X_{00}; Y_1=Y_{01}-Y_{00}; Z_1=Z_{01}-Z_{00}$.

Координаты остальных реперных точек рассчитываются аналогично.

Рассмотрим пространственные фотограмметрические координаты (X_i^*, Y_i^*, Z_i^*), полученные как проекции перпендикуляра из точки ориентира на оптическую ось (рис. 2), которые описываются формулами (для $n=3$) [13]:

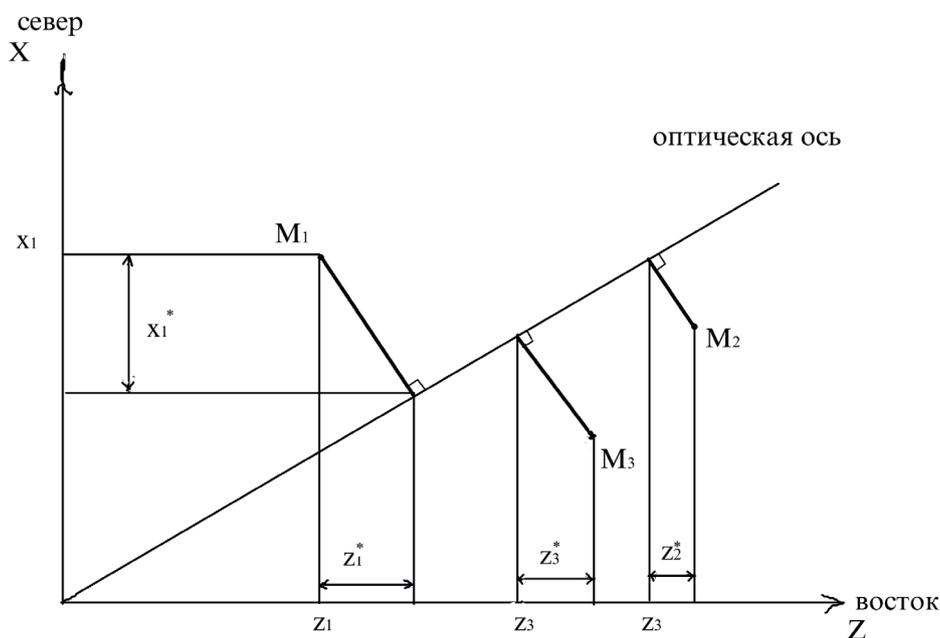


Рисунок 2. Схема определения пространственных фотограмметрических координат

$$\begin{cases} X_i = b_i X_i^* + b_i Y_i^* + b_i Z_i^* \\ Y_i = c_i X_i^* + c_i Y_i^* + c_i Z_i^* \\ Z_i = a_i X_i^* + a_i Y_i^* + a_i Z_i^* \end{cases}$$

где коэффициенты a, b, c определяются по формулам:

$$\begin{aligned} a_1 &= \cos \chi_0 \cos \alpha_0 - \sin \chi_0 \sin \omega_0 \sin \alpha_0; \\ a_2 &= \cos \omega_0 \sin \alpha_0; \\ a_3 &= -\sin \chi_0 \cos \alpha_0 - \cos \chi_0 \sin \omega_0 \sin \alpha_0; \\ b_1 &= -\cos \chi_0 \sin \alpha_0 - \sin \chi_0 \sin \omega_0 \sin \alpha_0; \\ b_2 &= \cos \omega_0 \cos \alpha_0; \\ b_3 &= \sin \chi_0 \sin \alpha_0 - \cos \chi_0 \sin \omega_0 \cos \alpha_0; \\ c_1 &= \sin \chi_0 \cos \omega_0; \\ c_2 &= \sin \omega_0; \\ c_3 &= \cos \chi_0 \cos \omega_0. \end{aligned}$$

Углы α_0, ω_0 и χ_0 – это углы между осями координат и проекциями оптической оси на координатные плоскости. При $\chi_0 = 0$ получим:

$$\begin{aligned} a_1 &= \cos \alpha_0; \quad a_2 = \sin \alpha_0 \cos \omega_0; \quad a_3 = -\sin \alpha_0 \sin \omega_0; \\ b_1 &= -\sin \alpha_0; \quad b_2 = \cos \alpha_0 \cos \omega_0; \quad b_3 = -\cos \alpha_0 \sin \omega_0; \\ c_1 &= 0; \quad c_2 = \sin \omega_0; \quad c_3 = \cos \omega_0. \end{aligned}$$

Рассмотрим изображение на матрице кинокамеры (рис. 3), отклонения точек определяем в миллиметрах:

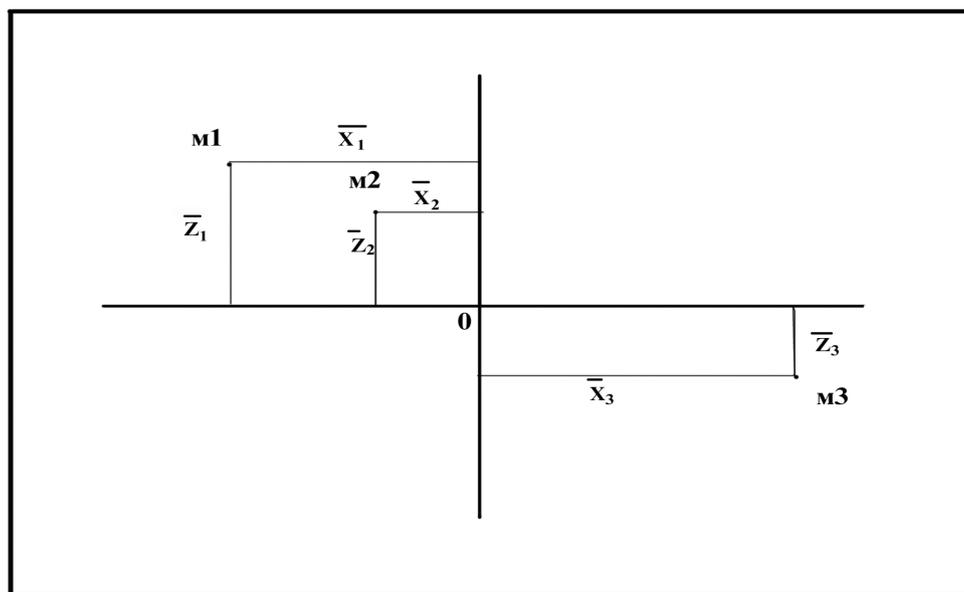


Рисунок 3. Схема изображения на матрице кинокамеры

Из законов геометрической оптики [14] вытекает, что

$$\frac{\bar{x}_i}{X_i^*} = \frac{\bar{z}_i}{Z_i^*} = \frac{f}{Y_i^*} = \frac{\sqrt{\bar{x}_i^2 + f^2 + \bar{z}_i^2}}{\sqrt{X_i^{*2} + Y_i^{*2} + Z_i^{*2}}},$$

но $\sqrt{X_i^{*2} + Y_i^{*2} + Z_i^{*2}} = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2 + Z_i^2}$, так как $D_i = D_i^*$ – расстояние до точки на оптической оси. Тогда получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1 \sqrt{\frac{\bar{x}_1^2 + f^2 + \bar{z}_1^2}{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2}} = \bar{x}_1 b_1 + f b_2 + \bar{z}_1 b_3; \\ X_2 \sqrt{\frac{\bar{x}_2^2 + f^2 + \bar{z}_2^2}{X_2^2 + Y_2^2 + Z_2^2}} = \bar{x}_2 b_1 + f b_2 + \bar{z}_2 b_3; \\ X_3 \sqrt{\frac{\bar{x}_3^2 + f^2 + \bar{z}_3^2}{X_3^2 + Y_3^2 + Z_3^2}} = \bar{x}_3 b_1 + f b_2 + \bar{z}_3 b_3; \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_1 \sqrt{\frac{\bar{x}_1^2 + f^2 + \bar{z}_1^2}{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2}} = \bar{x}_1 c_1 + f c_2 + \bar{z}_1 c_3; \\ Y_2 \sqrt{\frac{\bar{x}_2^2 + f^2 + \bar{z}_2^2}{X_2^2 + Y_2^2 + Z_2^2}} = \bar{x}_2 c_1 + f c_2 + \bar{z}_2 c_3; \\ Y_3 \sqrt{\frac{\bar{x}_3^2 + f^2 + \bar{z}_3^2}{X_3^2 + Y_3^2 + Z_3^2}} = \bar{x}_3 c_1 + f c_2 + \bar{z}_3 c_3; \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_1 \sqrt{\frac{\bar{x}_1^2 + f^2 + \bar{z}_1^2}{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2}} = \bar{x}_1 a_1 + f a_2 + \bar{z}_1 a_3; \\ Z_2 \sqrt{\frac{\bar{x}_2^2 + f^2 + \bar{z}_2^2}{X_2^2 + Y_2^2 + Z_2^2}} = \bar{x}_2 a_1 + f a_2 + \bar{z}_2 a_3; \\ Z_3 \sqrt{\frac{\bar{x}_3^2 + f^2 + \bar{z}_3^2}{X_3^2 + Y_3^2 + Z_3^2}} = \bar{x}_3 a_1 + f a_2 + \bar{z}_3 a_3. \end{array} \right.$$

Решая полученные три системы линейных уравнений относительно неизвестных a , b , c , находим углы наклона оптической оси. Так, после нахождения b_1 угол α_0 находится по формуле:

$$\alpha_0 = \arcsin(b_1); \quad \omega_0 = \arccos\left(\frac{b_2}{\cos(\alpha_0)}\right) .$$

Разработанный метод позволяет вычислить угол наклона видеокамеры без всяких допущений и достаточно точно, так как $c_2 = \sin(\omega_0)$ и не зависит от χ_0 , а в c_1 и c_3 входит только ω_0 и они не зависят от α_0 . Ошибка расчетов (погрешность вычислений) на эталонных примерах не превышает 3'' как по α_0 так и по ω_0 .

Библиография :

1. Волотов Е.М. Метод определения фокусного расстояния видеокамеры при оценке летно-технических характеристик летательного аппарата // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2012. № 4 (24). С. 76-83.
2. Митрофанов И.В., Волотов Е.М., Митрофанов Е.И. Обработка информации, зарегистрированной с помощью системы видеорегистрации на базе видеокамер общего назначения // Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н.Е. Жуковского. 2013. № 1. С. 205-209.
3. Веселов Ю.Г., Гулевич С.П., Еруков О.П., Сельвесюк Н.И. Современное состояние и перспективы развития оптико-электронных систем воздушной разведки // Вестник академии военных наук. 2011. № 3. С. 124-128.
4. Макаренко В.Г., Богомолов А.В., Рудаков С.В., Подорожняк А.А. Технология построения инерциально-спутниковой навигационной системы управления транспортными средствами с нейросетевой оптимизацией состава вектора измерений // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 1. С. 39-44.
5. Зайцев А.В., Пугачев А.Н., Тукаев Д.Л., Харитонов В.В. Научно-методический аппарат многомерного прогнозирования технического состояния сложных систем военного назначения // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2015. № 5-6. С. 3-6.
6. Кузнецов П.К., Корнев А.П. Методика уточнения положения оптической оси изобразительной системы космического аппарата наблюдения // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2005. № 37. С. 141-150.
7. Макаренко В.Г., Подорожняк А.А., Рудаков С.В., Богомолов А.В. Инерциально-спутниковая навигационная система управления транспортными средствами // Проблемы управления. 2007. № 1. С. 64-71.
8. Харитонов В.В., Мережко А.Н., Есев А.А., Зыкин А.П. Структурный системный анализ процессов управления затратами на летные испытания авиационного вооружения и военной техники // Известия Института инженерной физики. 2013. Т. 2. № 28. С. 32-35.
9. Косьянчук В.В. Синтез интегрированных систем наблюдения и управления с заданными динамическими характеристиками // Гирскопия и навигация. 2005. № 1 (48). С. 100.
10. Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В., Ушаков И.Б. Математическое обеспечение оценивания состояния материальных систем // Информационные технологии. 2004. № 7 (приложение). 32 с.
11. ГОСТ Р51794–2001. Системы координат. Методы преобразования координат определенных точек. М.: 2001.

12. Лобанов А.Н. Фотограмметрия. М.: Недра, 1984. 502 с.
13. Соловьев А.Ф. Геодезия. Часть 1. М.: Военное издательство, 1966. 146 с.
14. Яворский Б.М., Пинский А.А. Основы физики. Том 2. Колебания и волны, Квантовая физика. М., Наука, 1981. 552 с.

References:

1. Volotov E.M. Metod opredeleniya fokusnogo rasstoyaniya videokamery pri otsenke letno-tekhnicheskikh kharakteristik letatel'nogo apparata // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Povolzhskii region. Tekhnicheskie nauki. 2012. № 4 (24). S. 76-83.
2. Mitrofanov I.V., Volotov E.M., Mitrofanov E.I. Obrabotka informatsii, zaregistrirovannoi s pomoshch'yu sistemy videoregistratsii na baze videokamer obshchego naznacheniya // Nauchnye chteniya po aviatsii, posvyashchennye pamyati N.E. Zhukovskogo. 2013. № 1. S. 205-209.
3. Veselov Yu.G., Gulevich S.P., Erukov O.P., Sel'vesyuk N.I. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya optiko-elektronnykh sistem vozduшной razvedki // Vestnik akademii voennykh nauk. 2011. № 3. S. 124-128.
4. Makarenko V.G., Bogomolov A.V., Rudakov S.V., Podorozhnyak A.A. Tekhnologiya postroeniya inertsiyal'no-sputnikovoi navigatsionnoi sistemy upravleniya transportnymi sredstvami s neurosetevoi optimizatsiei sostava vektora izmerenii // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2007. № 1. S. 39-44.
5. Zaitsev A.V., Pugachev A.N., Tukeev D.L., Kharitonov V.V. Nauchno-metodicheskii apparat mnogomernogo prognozirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya slozhnykh sistem voennogo naznacheniya // Voprosy oboronnoi tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodeistviya terrorizmu. 2015. № 5-6. S. 3-6.
6. Kuznetsov P.K., Kornev A.P. Metodika utochneniya polozheniya opticheskoi osi izobrazitel'noi sistemy kosmicheskogo apparata nablyudeniya // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki. 2005. № 37. S. 141-150.
7. Makarenko V.G., Podorozhnyak A.A., Rudakov S.V., Bogomolov A.V. Inertsiyal'no-sputnikovaya navigatsionnaya sistema upravleniya transportnymi sredstvami // Problemy upravleniya. 2007. № 1. S. 64-71.
8. Kharitonov V.V., Merezko A.N., Esev A.A., Zykin A.P. Strukturnyi sistemnyi analiz protsessov upravleniya zatratami na letnye ispytaniya aviatsionnogo vooruzheniya i voennoi tekhniki // Izvestiya Instituta inzhenernoi fiziki. 2013. T. 2. № 28. S. 32-35.
9. Kos'yanchuk V.V. Sintez integrirovannykh sistem nablyudeniya i upravleniya s zadannymi dinamicheskimi kharakteristikami // Girokopiya i navigatsiya. 2005. № 1 (48). S. 100.
10. Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V., Ushakov I.B. Matematicheskoe obespechenie otsenivaniya sostoyaniya material'nykh sistem // Informatsionnye tekhnologii. 2004. № 7 (prilozhenie). 32 s.
11. GOST R51794–2001. Sistemy koordinat. Metody preobrazovaniya koordinat opredelennykh toчек. М.: 2001.
12. Lobanov A.N. Fotogrammetriya. М.: Nedra, 1984. 502 s.
13. Solov'ev A.F. Geodeziya. Chast' 1. М.: Voennoe izdatel'stvo, 1966. 146 s.
14. Yavorskii B.M., Pinskiy A.A. Osnovy fiziki. Tom 2. Kolebaniya i volny, Kvantovaya fizika. М., Nauka, 1981. 552 s.