

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ ИК-ОБЪЕКТИВОВ ГОНИОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

В.Н. Сазонов¹
М.В. Вязовых²
Н.Н. Кулакова²

maxvyaz@bmstu.ru
SAVA5491@yandex.ru
nnkulakova@gmail.com

¹ ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева», г. Красногорск,
Московская обл., Российская Федерация

² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Разработан адаптированный для заводской установки алгоритм определения фокусного расстояния ИК-объектива гониометрическим методом. Приведено подробное описание установки для контроля фокусных расстояний ИК-объективов. Разработанный алгоритм полуавтоматический и предполагает проведение ряда процедур оператором вручную. Данный алгоритм существенно повысил производительность измерения фокусных расстояний ИК-объективов вследствие автоматизации вычислительного процесса и процедур ввода повторно используемых данных. Приведены графические интерфейсы пользователей операционных систем Windows и Android, а также графический интерфейс на языке кроссплатформенной разметки HTML. Выполнено сравнение работоспособности предлагаемого алгоритма и методики, используемой в настоящее время на производстве. Приведены пути дальнейшей модернизации в рамках методики измерения фокусных расстояний ИК-объективов на заводской установке гониометрическим методом в целях полной автоматизации процесса измерения

Ключевые слова

Объектив, фокусное расстояние, погрешность, алгоритм, Windows, Android, HTML

Поступила в редакцию 12.12.2017
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

В настоящее время активное внимание уделяется разработке высококачественных тепловизоров, в которых применяются специально рассчитанные объективы для инфракрасного (ИК) излучения. Опыт создания тепловизоров показал, что для идентификации объектов существенное значение имеют размер объекта, разрешение матрицы и фокусное расстояние объектива. Кроме того, соответствие измеренного фокусного расстояния расчетному в значительной степени определяет как правильность центрирования деталей, так и качество сборки объектива. Точное значение фокусного расстояния необходимо для определения диаметра дифракционного кружка Эри и углового поля объектива. Фокусное расстояние оптической системы определяет масштаб изображения, являет-

ся одной из основных ее характеристик [1]. Современное производство ИК-объективов требует измерения фокусного расстояния с высокой точностью — погрешность 0,5...1 % [2–5]. В настоящее время такую точность контроля получают на заводской установке, разработанной ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева». Процесс измерения на установке трудоемок, так как требует использования графических зависимостей погрешности измерения фокусного расстояния от угла поворота исследуемого объектива. Автоматизация процесса измерения фокусного расстояния объектива на такой установке существенно повысит точность контроля, его производительность, а также обеспечит наглядное отображение результатов контроля и сохранение их в памяти персональной электронной вычислительной машины (ПЭВМ), что важно для дальнейшего анализа результатов контроля. Поэтому разработка алгоритма и программного обеспечения для расчета фокусного расстояния объектива с требуемой точностью является актуальной задачей.

Метод определения фокусного расстояния на установке основан на измерении линейных перемещений изображения y (рис. 1) бесконечно удаленного точечного источника излучения исследуемым объективом. Данный метод называется гониометрическим. Смещение изображения получают в результате поворота объектива на угол ω в устройстве, где вертикальная ось вращения держателя объектива совмещена с его узловой точкой. Искомое фокусное расстояние $f'_{об}$ определяется по формуле [2, 4]:

$$f'_{об} = \frac{y}{\text{tg}\omega}. \quad (1)$$

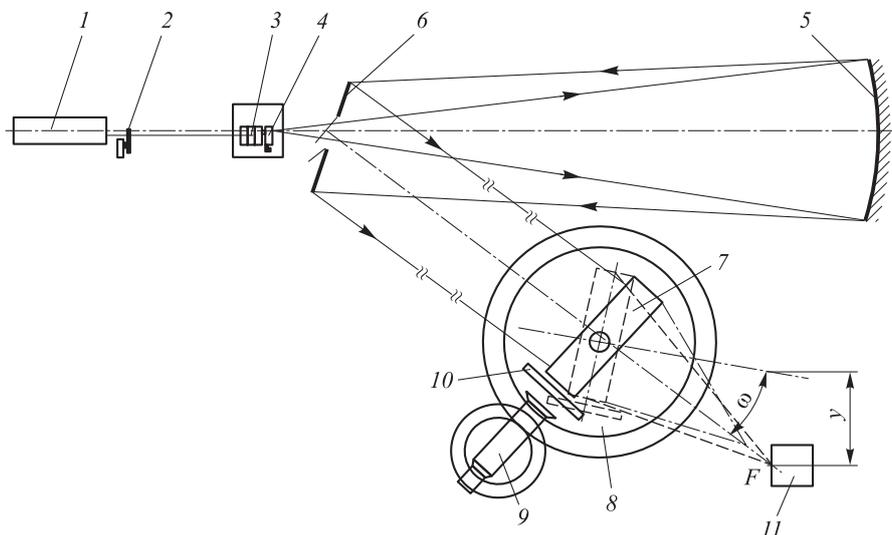


Рис. 1. Схема установки для контроля фокусного расстояния ИК-объективов:

1 — лазерный источник излучения; 2 — модулятор; 3 — конденсор; 4 — диафрагма с круглым отверстием; 5 — сферическое зеркало; 6 — плоское зеркало; 7 — исследуемый объектив; 8 — поворотное устройство; 9 — теодолит; 10 — плоское зеркало; 11 — фотоприемное устройство со сканирующей щелью

Погрешность измерения фокусного расстояния определяется следующей зависимостью:

$$\sigma_{f'} = \frac{y}{\omega} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\text{скан}}}{y}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\omega}}{\omega}\right)^2}, \quad (2)$$

где y — линейное перемещение изображения; ω — угол поворота объектива; $\sigma_{\text{скан}}$ — погрешности наведения щели на центр пятна рассеяния; σ_{ω} — погрешность измерения угла поворота объектива. Как показали исследования, полевые aberrации не влияют на погрешность измерения $f'_{\text{об}}$ при малых углах поворота объектива ω . Основную долю в общую погрешность вносят $\sigma_{\text{скан}}$ и σ_{ω} , а также значения углов поворота ω . Погрешности $\sigma_{\text{скан}}$ и σ_{ω} указаны в паспорте на установку и определяются особенностями ее конструкции. Из выражений (1) и (2) получим

$$\omega = \pm \sqrt{\frac{\sigma_{\text{скан}}^2 + f'_{\text{об}}{}^2 \sigma_{\omega}^2}{\sigma_{f'}^2}}. \quad (3)$$

Из формулы (3) следует, что угол ω зависит от выбранных значений погрешности $\sigma_{f'}$ и ожидаемого значения фокусного расстояния объектива $f'_{\text{об}}$. Недостатком метода измерения фокусного расстояния на заводской установке является необходимость использования зависимости $\sigma_{f'} = f(\omega)$ для определения угла поворота объектива, при котором обеспечивается необходимая погрешность измерения $\sigma_{f'}$. Поэтому целью работы является разработка алгоритма и программного модуля для расчета угла поворота объектива на установке с последующим определением фокусного расстояния с заданной погрешностью $\sigma_{f'}$ [6, 7].

Алгоритм определения фокусного расстояния гониометрическим методом состоит из следующих этапов.

1. Вычислить оптимальный угол поворота объектива.
 - 1.1. Выбрать значение ожидаемого фокусного расстояния и назначить погрешность его вычисления: $f'_{\text{об}}$, $\sigma_{f'}$.
 - 1.2. Назначить значения инструментальных погрешностей $\sigma_{\text{скан}}$, σ_{ω} , которые указаны в паспорте на установку.
 - 1.3. Вычислить оптимальный угол ω по формуле (3).
2. Найти плоскость наилучшего изображения (ПНИ) по максимальному сигналу на вольтметре.
3. Определить нулевое линейное положение изображения.
4. Определить нулевое угловое положение объектива.
5. Повернуть объектив на оптимальный угол ω против хода часовой стрелки.
6. Определить угловое положение объектива $\omega_{\text{пр.ч}}$ при его повороте против хода часовой стрелки.
7. Определить линейное смещение изображения $y_{\text{пр.ч}}$ при повороте объектива против хода часовой стрелки.

8. Вернуть объектив в нулевое угловое положение.
 9. Повернуть объектив на оптимальный угол ω по ходу часовой стрелки.
 10. Определить угловое положение объектива $\omega_{п.ч}$ при его повороте по ходу часовой стрелки.
 11. Определить линейное смещение изображения $u_{п.ч}$ при повороте объектива по ходу часовой стрелки.
 12. Вернуть объектив в нулевое угловое положение.
 13. Вернуть приемник изображения (ПИ) в начальное положение.
 14. Вычислить фокусные расстояния $f'_{пр.ч}$, $f'_{п.ч}$ по формуле (1).
 15. Вычислить среднее значение фокусного расстояния объектива $\bar{f}'_{об}$ по формуле $f'_{об} = \frac{f'_{пр.ч} + f'_{п.ч}}{2}$.
 16. При необходимости повторить п. 2–15.
- Блок-схема алгоритма приведенных действий показана на рис. 2–4.

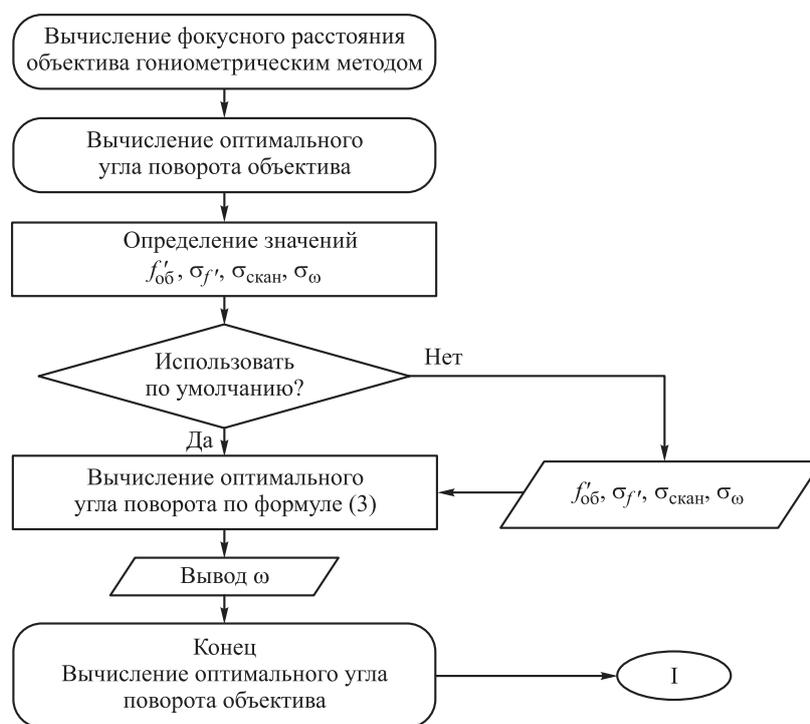


Рис. 2. Блок-схема алгоритма вычисления оптимального угла поворота объектива

Для подтверждения работоспособности алгоритма проведено тестовое измерение фокусного расстояния с ожидаемым значением $f'_{об} = 100$ мм и погрешностью $\sigma_{f'} = 1$ мм. Инструментальные погрешности установки указаны в паспорте и составляют $\sigma_{скан} = 1$ мкм, $\sigma_{\omega} = 2''$. Результаты измерения фокусного расстояния с использованием алгоритма и на основании графических зависимостей совпали.

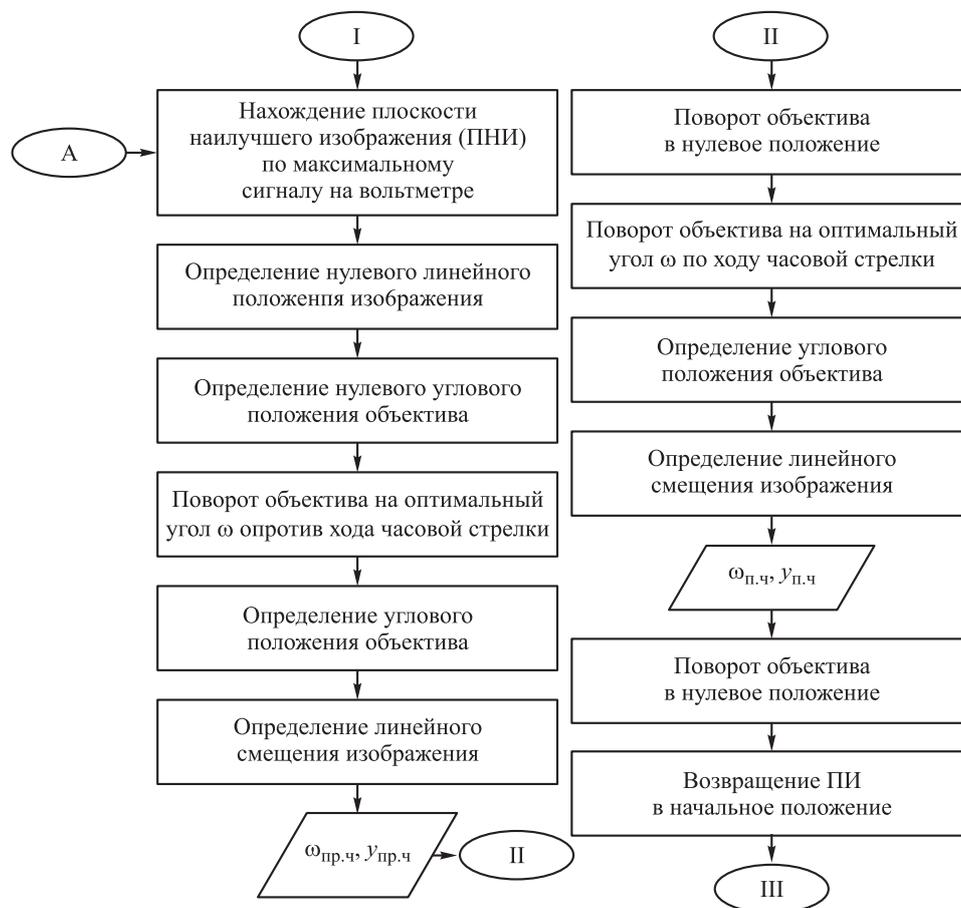


Рис. 3. Блок-схема алгоритма определения угловых положений объектива и линейных смещений изображения

Разработанный алгоритм может быть реализован в программных средах C++Builder [8] для операционной системы Windows. Приведем пример графического интерфейса определения фокусного расстояния объектива f'_{06} (рис. 5).

Для мобильных устройств (например, для операционной системы Android) разработанный алгоритм может быть реализован в программной среде Embarcadero RAD Studio XE8 [9] на языке C++. На рис. 6 приведен пример графического интерфейса определения фокусного расстояния объектива f'_{06} для мобильных устройств.

Версию HTML [10] реализованного алгоритма (рис. 7) можно использовать на персональных компьютерах с различной архитектурой для максимально широкого набора операционных систем.

Разработанный алгоритм подтвердил свою работоспособность определять фокусное расстояние исследуемого ИК-объектива с заданной точностью (погрешность 0,5...1 %) и по сравнению с ранее используемым методом позволил существенно ускорить процесс измерения и протоколирования результатов для

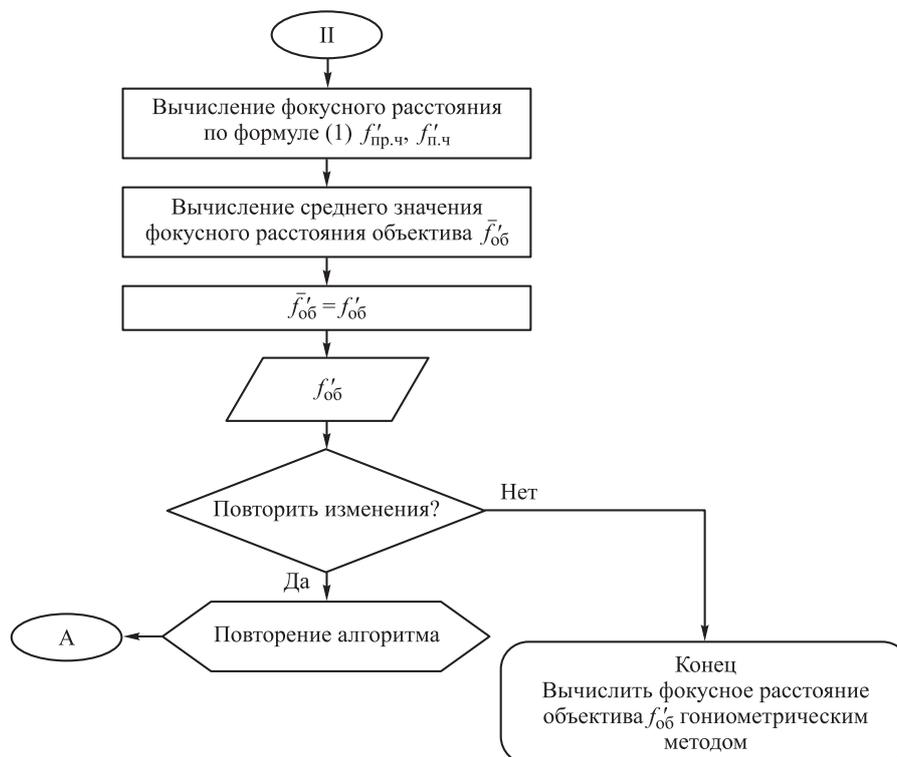


Рис. 4. Блок-схема алгоритма определения фокусного расстояния с заданной погрешностью

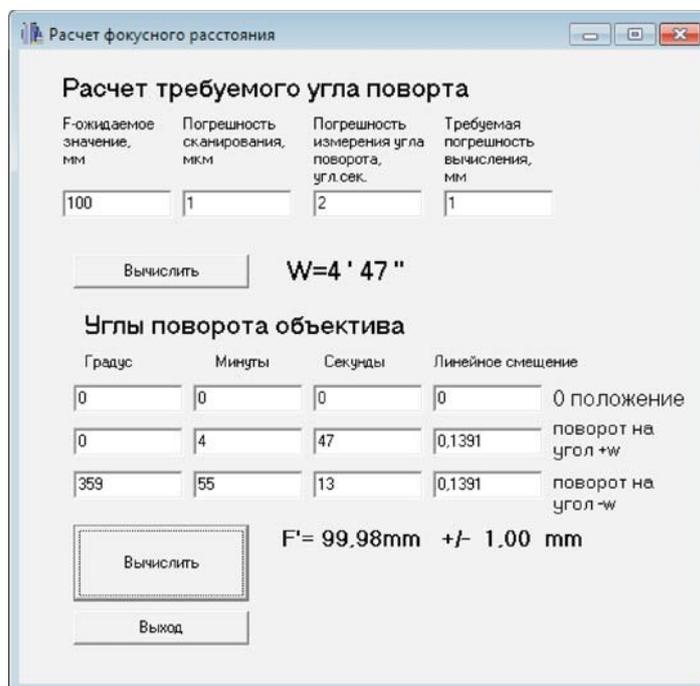


Рис. 5. Пример графического интерфейса определения фокусного расстояния объектива $f'_{об}$, реализованного в среде C++Builder

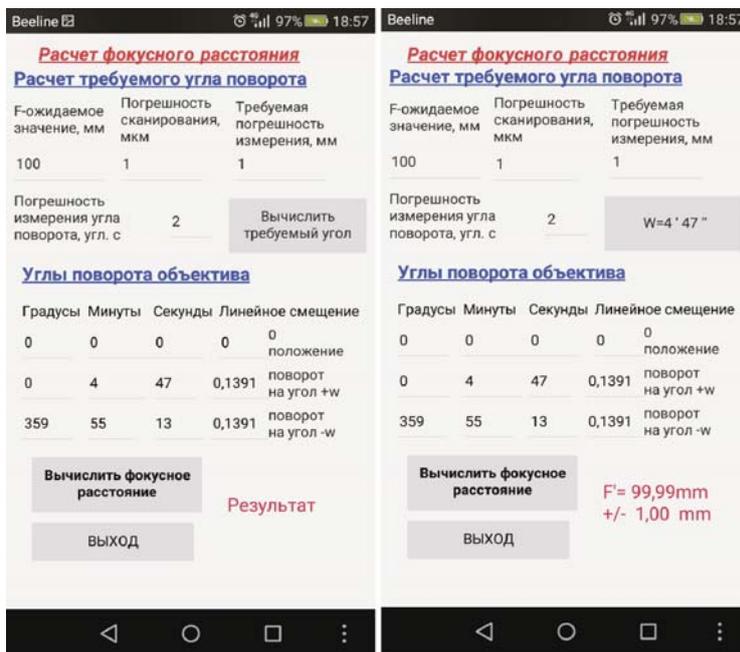
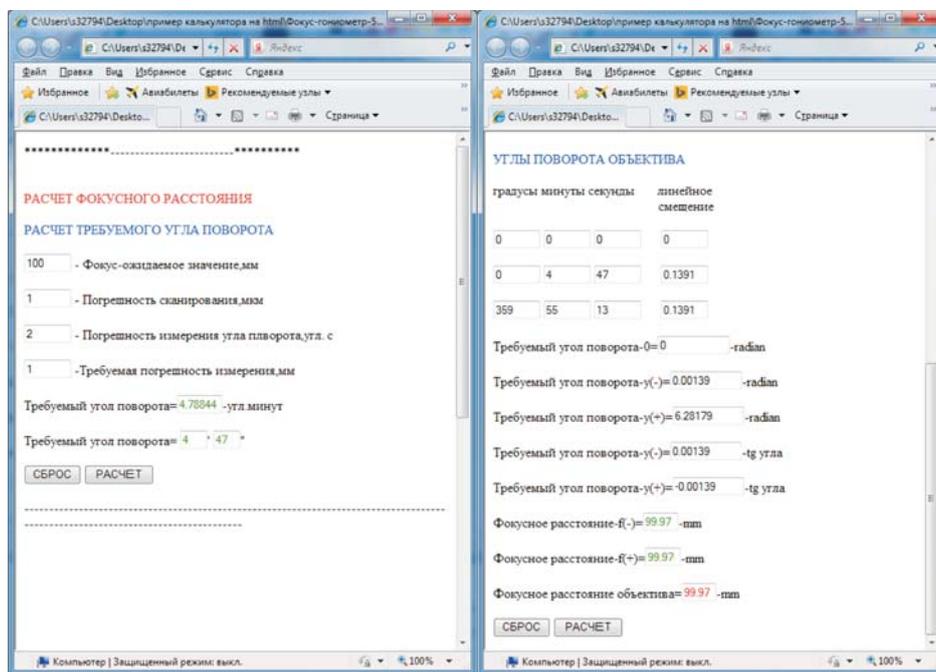


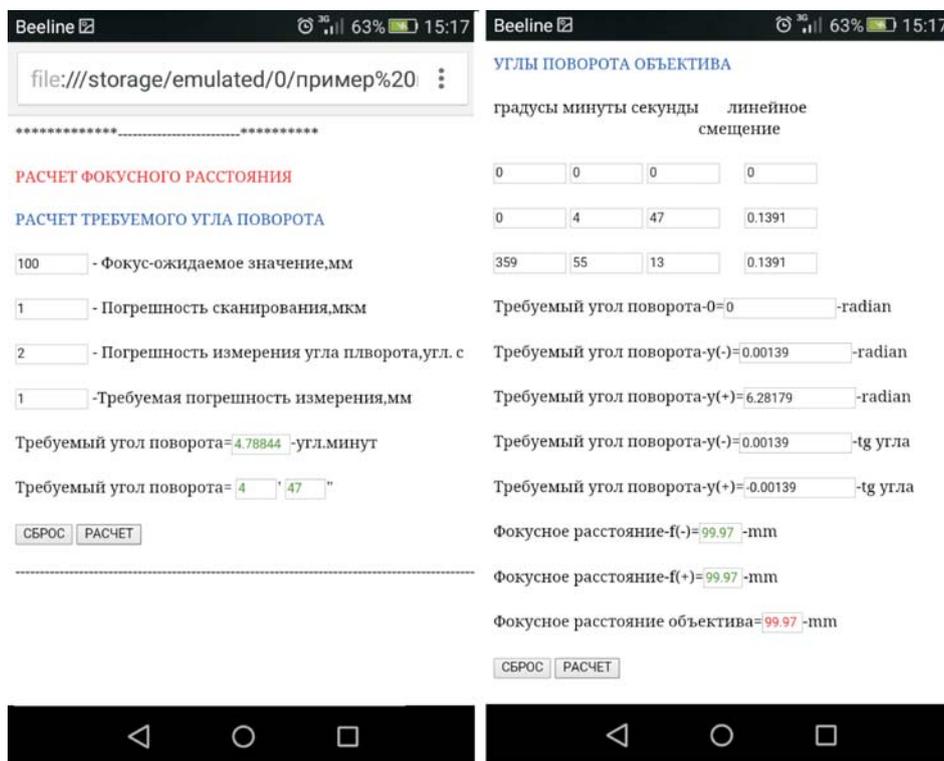
Рис. 6. Пример графического интерфейса определения фокусного расстояния объектива $f'_{об}$, реализованного в среде Embarcadero RAD Studio XE8



а

Рис. 7 (начало). Пример графического интерфейса определения фокусного расстояния объектива $f'_{об}$, разработанного на языке гипертекстовой разметки (HTML):

а — Internet Explorer Web-браузер (Windows)



б

Рис. 7 (окончание). Пример графического интерфейса определения фокусного расстояния объектива $f'_{об}$, разработанного на языке гипертекстовой разметки (HTML):

б — Google Chrome Web-браузер (Android)

дальнейшей статистической обработки. Однако в настоящее время алгоритм определения фокусного расстояния с заданной погрешностью гониометрическим методом является полуавтоматическим, что предусматривает наличие человека-оператора, нецифровое оборудование (отсчетные устройства — теодолит (измерение угла), индикатор линейного перемещения (измерение линейного смещения изображения)) и др. Все перечисленные факторы замедляют процесс определения фокусного расстояния и требуют определенных навыков человека-оператора. Поэтому дальнейшей важной задачей является реализация данного алгоритма в автоматическом режиме с использованием цифрового отсчетного оборудования и/или матричного приемника изображения, который не только облегчит задачу определения линейного смещения изображения, но и сделает данный процесс более наглядным, удобным и быстрым.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Заказнов Н.П., Кирюшин С.И., Кузичев В.И.* Теория оптических систем. СПб.: Лань, 2008. 448 с.

2. *ГОСТ 13095–82. Объективы. Методы измерения фокусного расстояния.* М.: Издательство стандартов, 1988. 12 с.
3. *Оптические измерения / А.Н. Андреев, Е.В. Гаврилов, Г.Г. Ишанин, В.К. Кирилловский, В.Т. Прокопенко.* М.: ЛОГОС, 2008. 416 с.
4. *Креопалова Г.В., Лазарева Н.Л., Пуряев Д.Т.* Оптические измерения. М.: Машиностроение, 1987. 264 с.
5. *Кривовяз Л.М., Пуряев Д.Т., Знаменская М.А.* Практика оптической измерительной лаборатории. М.: Машиностроение, 2004. 333 с.
6. *Кулакова Н.Н., Каледин С.Б., Сазонов В.Н.* Анализ погрешностей измерения фокусного расстояния ИК-объективов гониометрическим методом // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2017. № 4. С. 17–26. DOI: 10.18698/0236-3933-2017-4-17-26
7. *ГОСТ 19.701–90.* ЕСПД. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения. М.: Стандартинформ, 2010. 12 с.
8. *Архангельский А.Я., Тагин М.А.* Программирование в С++Builder 6 и 2006. М.: Бином-Пресс, 2007. 1184 с.
9. *Embarcadero product documentation Wikis.* Android mobile application development // embarcadero: веб-сайт.
URL: http://docwiki.embarcadero.com/RADStudio/XE8/en/Android_Mobile_Application_Development (дата обращения: 01.12.2017).
10. *Тиге Дж.К.* DHTML и CSS. М.: ДМК Пресс, 2003. 560 с.

Сазонов Вячеслав Николаевич — инженер-исследователь, ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева» (Российская Федерация, Московская обл., 143403, г. Красногорск, Речная ул., д. 8).

Вязовых Максим Вячеславович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Лазерные и оптико-электронные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Кулакова Надежда Николаевна — канд. техн. наук, доцент кафедры «Лазерные и оптико-электронные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Сазонов В.Н., Вязовых М.В., Кулакова Н.Н. Особенности реализации алгоритма определения фокусного расстояния ИК-объективов гониометрическим методом // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2018. № 4. С. 4–14.
DOI: 10.18698/0236-3933-2018-4-4-14

IMPLEMENTATION FEATURES OF THE ALGORITHM FOR DETERMINING IR LENSES FOCUS DISTANCE BY THE GONIOMETRIC METHOD

V.N. Sazonov¹

maxvyaz@bmstu.ru

M.V. Vyazovych²

SAVA5491@yandex.ru

N.N. Kulakova²

nnkulakova@gmail.com

¹ JSC "Krasnogorsky Zavod", Krasnogorsk, Moscow Region, Russian Federation

² Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The purpose of the study was to develop an algorithm for determining the IR lenses focal distance by the goniometric method, the algorithm being tailored to the factory equipment. The paper gives a detailed description of the machine for monitoring the IR lenses focal distances. The developed algorithm is semi-automatic and some procedures are supposed to be done by the operator manually. This algorithm has significantly increased the performance of measuring the IR lenses focal distances due to the automated computational process and procedures for inputting reusable data. Graphical user interfaces of Windows and Android operating systems, as well as a graphical interface in HTML markdown are presented. Moreover, we made a comparison between the operability of the proposed algorithm and the methods currently used in production. As a result, we suggest some ways for further modernizing the methods of measuring the IR lenses focal distances at the factory by the goniometric method in order to fully automate the measurement process

Keywords

Lens, focus distance, error, algorithm, Windows, Android, HTML

Received 12.12.2017

© BMSTU, 2018

REFERENCES

- [1] Zakaznov N.P., Kiryushin S.I., Kuzichev V.I. Teoriya opticheskikh system [Theory of optical systems]. Sankt-Petersburg, Lan' Publ., 2008. 448 p.
- [2] GOST 13095–82. Ob'ektyvy. Metody izmereniya fokusnogo rasstoyaniya [State standard 13095–82. Objective lenses. Methods of measuring the focal length]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1988. 12 p.
- [3] Andreev A.N., Gavrilov E.V., Ishanin G.G., et al. Opticheskie izmereniya [Optical measurements]. Moscow, LOGOS Publ., 2008. 416 p.
- [4] Kreopalova G.V., Lazareva N.L., Puryaev D.T. Opticheskie izmereniya [Optical measurements]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987. 264 p.
- [5] Krivovyyaz L.M., Puryaev D.T., Znamenskaya M.A. Praktika opticheskoy izmeritel'noy laboratorii [Practice of optical measuring laboratory]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2004. 333 p.
- [6] Kulakova N.N., Kaledin S.B., Sazonov V.N. Error analysis of IR lens focal length measured by a goniometric method. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Instrum. Eng.], 2017, no. 4, pp. 17–26 (in Russ.). DOI: 10.18698/0236-3933-2017-4-17-26
- [7] GOST 19.701–90. ESPD. Skhemy algoritmov, programm, dannykh i sistem. Oboznacheniya uslovnye i pravila vypolneniya [State standard 19.701–90. Unified system for program documentation. Data, program and system flowcharts, program network charts and system resources charts. Documentation symbols and conventions for flowcharting]. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 12 p.
- [8] Arkhangel'skiy A.Ya., Tagin M.A. Programmirovaniye v S++Builder 6 i 2006 [Programming C++Builder 6 and 2006]. Moscow, Binom-Press Publ., 2007. 1184 p.

[9] Embarcadero product documentation Wikis. Android mobile application development. embarcadero: website.

Available at: <http://docwiki.embarcadero.com/RADStudio/XE8/en/>

Android_Mobile_Application_Development (accessed: 01.12.2017).

[10] Teague J.C. DHTML and CSS for the World Wide Web. Peachpit Press, 2001. 616 p.

Sazonov V.N. — Research Engineer, JSC "Krasnogorsky Zavod" (Rechnaya ul. 8, Krasnogorsk, Moscow Region, 143403 Russian Federation).

Vyazovykh M.V. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Laser and Optoelectronic Systems, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Kulakova N.N. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Laser and Optoelectronic Systems, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Sazonov V.N., Vyazovykh M.V., Kulakova N.N. Implementation Features of the Algorithm for Determining IR Lenses Focus Distance by the Goniometric Method. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Instrum. Eng.], 2018, no. 4, pp. 4–14 (in Russ.). DOI: 10.18698/0236-3933-2018-4-4-14



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышло в свет учебное пособие авторов

Ю.Е. Алексеева, А.В. Курова

**«Обработка нечисловых типов данных
в среде MS VS C++»**

Рассмотрена работа со следующими типами и структурами данных: символьным; строковым; структурным; файловым; указатели. Описаны операции, которые можно выполнять с данными каждого типа. Приведены сведения о стандартных функциях обработки этих данных и примеры программ, позволяющих лучше уяснить основные особенности работы с каждым конкретным типом данных. Представлены комплекты заданий (не менее 25 вариантов). Для студентов первого курса МГТУ им. Н.Э. Баумана, обучающихся по машино- и приборостроительным специальностям.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
+7 (499) 263-60-45
press@bmstu.ru
www.baumanpress.ru