

УДК 53.08 : 62

Б.Б. Сакакушев¹, Г.К. Георгиев², И.С. Железаров³¹ Русенский университет «Ангел Кинчев», Русе, Болгария² Фракийский университет, филиал Ямбол, Стара-Загора, Болгария³ Технический университет, Габрово, Болгария

ПЕРВЫЕ ШАГИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ БЮДЖЕТА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ В МАШИНОСТРОЕНИИ

В докладе рассматриваются основные источники неопределенности в фотограмметрических измерениях, их применение в машиностроении с использованием бесплатного программного обеспечения. Программа "PhotoM" предназначена для измерительных микроскопов и используется только при известных расстояниях "а", в основном в биологии и смежных науках при предварительной калибровке для каждого из сменных объективов. Программа работает только в двумерном варианте.

Ключевые слова: неопределенность, фотограмметрические измерения.

Введение

Широко известен факт внедрения фотограмметрических методов измерений в различные области техники. Эти методы нашли практическую реализацию, однако, как правило, связаны с конкретной аппаратурой (универсальными измерительными микроскопами, проекторами, трехкоординатными измерительными машинами, телескопами и т.д.), а также специализированным программным обеспечением для применения конкретных методов. Это факт часто приводит к отказу от этих методов (или нерентабельности) из-за высокой стоимости оборудования (аппаратного и программного обеспечения) [1–3]. Кроме того, недостаточно изучена неопределенность этих методов.

Постановка проблемы

Классический фотограмметрический метод основывается на закономерностях между координатами изображения и пространственными свойствами центральной проекции [6]. Применение фотограмметрических методов для определения размеров в пространстве [6–8] связано с определением изображения и слайд-координат определенных точек поверхности и использованием современных достижений в цифровой фотографии и компьютерной технике. При апробации метода в плоском варианте с использованием "не особенно подходящего", свободного программного обеспечения [8] основным источником ошибок являются: фокусное расстояние – F (угловой диапазон – α , предметное расстояние объектива – "а". Понятие **коэффициент трансформации "К_T"**, характеризует связь двух вышеуказанных параметров: фотографической системы линз как системы с расстоянием "а" (фактор, который зависит от объекта измерения). "К_T" сильно зависит от фокусного расстояния объектива [8]. При фокусном расстоянии

$F = 50$ мм $K_{CP} = 1,25$, а при фокусном расстоянии $F = 28$ мм $K_{CP} = 2,13$ (K_{CP} – средняя неопределенность), т.е. увеличивая фокусное снижаем расстояние коэффициент трансформации длин, что резонно в связи с сокращением углового расстояния объектива "а".

Тем не менее, это далеко не все источники неопределенности. Основываясь на опыте, накопленном в полевых измерениях, могут быть определены и другие важные источники неопределенности – разрешающая способность матрицы цифровой камеры, разрешающая способность матрицы монитора, на котором делается фактическое измерение и реальное разрешение самого изображения. Есть, конечно, другие источники, но они из сферы "высшего пилотажа" в этой области – качество оптической системы камеры (сферическая и хроматическая aberrация, кома, астигматизм и другие).

В качестве примера наиболее важных параметров матрицы камер можно выделить размер пикселя матрицы, который связан с фактическим размером матрицы [9]:

1. В аппаратах высшего класса самая крупная матрица, которая находится в Canon EOS1DsMkII, имеет размер 36×24 мм и содержит 16 миллионов пикселей, расположенных в 4992 столбцах и 3328 строках. Размер пикселей в этой матрицы равен 7 мкм.

2. Соответственно, в аппарате среднего класса Canon EOS350D матрица имеет размер $22,2 \times 14,8$ мм и содержит 8000000 пикселей, расположенных в 3456 столбцах и 2304 строках. Размер пикселя – 6,4 мкм.

3. В устройстве низшего класса Canon PowerShot S80, размер матрицы $7,18 \times 5,32$ мм, 8000000 пикселей, расположенных в 3264 столбцах и 2448 строках. Размер пикселя – 2,1 мкм. Если пиксели, которые составляют матрицу, очень малы по размеру, это плохо для изображения, но, наоборот, хорошо для уменьшения этого компонента неопределенности.

Например, рекомендуется [9] при размере матрицы 2/3 "(8,8 × 6,6 мм), выбрать устройства, содержащие не более чем 5000000 пикселей.

Не надо пренебрегать и строго субъективным параметром изображения, таким как степень фокусировки. Если линия описывается в идеальном варианте с одним пикселем, то при плохой фокусировке эта линия затрагивает два соседних пикселя, что, в свою очередь, негативно влияет на качество измерений.

Для раскрытия основных факторов, влияющих на неопределенность в фотограмметрических измерениях, проведено экспериментальное исследование. Рассматриваются два основных фактора: фокусное расстояние f и предметное расстояние a .

В отличие от представленного в [8] экспериментального исследования, здесь два переменных фактора: освещение (вспышка и без вспышки) и размеры калибровки с ППКМД (20, 40, 60, 80 и 100 мм).

Для эксперимента использовался цифровой фотоаппарат FUJIFILM FinePix S9500 Matrix – матрица SONY Super CCD VHR (9,2 Мрх), размер 1/1.6 "(6.01/8.08 мм). Разрешение, использованное для съемок составляет 5Мрх (2592 / 1944рх), в результате чего номинальной размер "реального" пикселя – 3,1 μm .

Программа, которая используется для тестирования ("PhotoM"), является свободным программным обеспечением. Она предназначена для измерения микроскопами и используется только при известных расстояниях "а", в основном в биологии и смежных науках при предварительной калибровке для каждого из сменных объективов. *Программа работает только в двумерном варианте.*

Каждая картина повторялась дважды: в обычном лабораторном освещении (нечетные номера) и с подсветкой из встроенной вспышки (четные номера). Первая серия экспериментов была проведена при расстоянии фокусировки $a = 500$ мм, а вторая серия – при $a = 1000$ мм. Измеряемой деталью является деревянный ящик для микрометра, используемый в качестве подставки для ППКМД.

Измерение проводится в середине верхней половины корпуса ящика, как показано на рис. 1.

Результаты двух серий экспериментов представлены в табл. 1.

Опыты проводились в предположении, что калибровочная поверхность (ППКМД) и измеряемая поверхность лежат в одной плоскости (одинаковое предметное расстояние – a). В последних опытах (53 и 54), снята эталонная линия с размером 1000 мм, на расстоянии 2250 мм, при фокусном расстоянии $f = 135$ мм. Измерен размер центральной части белой доски в конце за калиброванным объектом (рис. 2). Результат можно видеть в последней строке табл. 1 и на рис. 2.

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований

Расстояние, мм	f , мм	ППКМД	Нет вспышки, мм	Вспышка, мм
500	28	20	1 -103,0	2 -103,0
	50		3 -105,0	4 -105,0
	100		5 -105,0	6 -105,0
	135		7 -108,0	8 -108,0
	28	40	9 -104,0	10 -104,0
	50		11 -104,0	12 -104,0
	100		13 -105,0	14 -105,0
	135		15 -107,0	16 -107,0
	28	60	17 -104,0	18 -104,0
	50		19 -104,0	20 -104,0
	100		21 -104,0	22 -104,0
	135		23 -105,0	24 -105,0
1000	28	20	25 -106,0	26 -106,0
	50		27 -102,0	28 -102,0
	100		29 -104,0	30 -104,0
	135		31 -104,0	32 -105,0
	28	40	33 -103,0	34 -103,0
	50		35 -104,0	36 -104,0
	100		37 -105,0	38 -105,0
	135		39 -104,0	40 -104,0
	28	60	41 -104,0	42 -103,0
	50		43 -104,0	44 -104,0
	100		45 -104,0	46 -104,0
	135		47 -104,0	48 -104,0
135	80	49 -104,0	50 -104,0	
135	100	51 -104,0	52 -104,0	
2250	135	1000	53 -	54 -

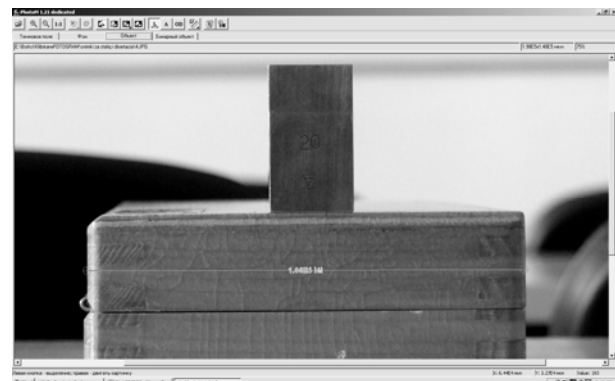


Рис. 1. Положение для съемки и места измерений



Рис. 2. Измерение объекта в другой плоскости калибровки (1000 мм)

Интерпретация результатов

Референтное значение при каждом измерении определяется путем контактного измерения. Для шкатулки – от 1 до 52; референтный размер, измеряется штангенциркулем с разрешением $a = 0,1$ мм. Этот размер – 104,0 мм. При небольшом размере калибровки 20 и 40 мм (эксперименты 1 – 16) неопределенность измерения оказалась достаточно высокой для точного измерения. Здесь основное влияние обусловлено малыми значениями калибровки размера пикселя. Достаточно ясно видны и случайные компоненты (эксперименты 1, 2, 7 и 8, и 15, 16), обусловленные плохой автофокусировкой, ошибкой оператора и т.п. Если исключить эти результаты, то нижний интервал погрешности находится в пределах 1%. Глядя на другие результаты (без опытов 53 и 54), мы видим, что это максимальное значение не превышает. Типичное значение неопределенности составляет ± 1 мм при $k=2$ (1%). Видно, что освещенность не имеет почти никакого влияния на результаты.

Обратите внимание, что при большом предметном расстоянии (1000 мм) комбинации малых значений калибровки (20 мм) в сочетании с небольшим фокусным расстоянием ($f - 28$ и 50 мм) не подходят в связи с увеличенным влиянием выше указанных возмущающих факторов.

Все опыты были сделаны без использования **коэффициента трансформации** – K_T , который является чрезвычайно важным, учитывая, что используемое программное обеспечение работает исключительно в плоской версии (плоскость калибровки совпадает с плоскостью измерения).

Выводы

1. Доказана пригодность фотограмметрического метода с использованием свободного программного обеспечения для использования в производстве.

2. Наиболее важными факторами, определяющими погрешность измерения, являются фокусное расстояние f и расстояние до объекта a .

3. На данном этапе можно утверждать, что неопределенность измерения при калибровке и измерении в одной плоскости и расстоянии до объекта 1000 мм не превышает ± 1 мм при $k=2$ (1%), не используя коэффициент трансформации K_T .

4. Необходимо тщательно проанализировать различные факторы, влияющие на бюджет неопределенности в целях его сокращения.

Список литературы

1. Cyganek, B. *An Introduction to 3D Computer Vision Techniques and Algorithms* / B. Cyganek, J. Siebert // John Wiley & Sons, 2009. – P. 59-60, 194-196.
2. Harris C. *A Combined Corner and Edge Detector* / C. Harris, M. Stephens // Proc. Alvey Vision Conf., Univ. Manchester, 1988. – P. 147-151.
3. Hartley R. *Multiple View Geometry in Computer Vision* / R. Hartley, A. Zisserman. – Newnes Butterworths, London, 1999. – 270 p.
4. Parks D. *Corner Detectors* [Электронный ресурс] / D. Parks, J. Gravel. – Режим доступа: <http://kiwi.cs.dal.ca/~dparks/CornerDetection/index.htm>.
5. Noble A. *Descriptions of Image Surfaces* / A. Noble. – PhD thesis Department of Engineering Science, Oxford University 1989, 45 p.
6. Погребинский А. *Математическое обеспечение автоматизированного проектирования изделий сложной формы с учетом реальной геометрии* / А. Погребинский. – Рига : Зинатне, 1995. – 180 с.
7. Сакакушев Б. *Приложение на фотограмметричный метод за измерване в машиностроенето* / Б. Сакакушев, М. Кършаков, Т. Тодоров // Известия на Съюза на учените – Русе, серия 1 Технически науки, том 6, 2009г., ISSN 1311 – 106X, стр. 20-23.
8. Станчев Т. *Апробация на фотограмметричен метод за измерване в машиностроенето* / Т. Станчев, Б. Сакакушев // Известия на Съюза на учените – Русе, серия 1 Техн. науки, том 7, 2010г., ISSN 1311 – 106X, стр. 18-22.
9. Българска Аквариумна Енциклопедия. *Цифрови фотоапарати. Обективи. Сензори. Практични съвети* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://aquariumbg.com/forum/index.php?action=articles&n=88>.

Поступила в редколлегию 16.12.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.В. Руженцев, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

ПЕРШІ КРОКИ ДЛЯ ПОБУДОВИ БЮДЖЕТУ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ФОТОГРАМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ В МАШИНОБУДУВАННІ

Б.Б. Сакакушев, Г.К. Георгієв, І.С. Железаров

У доповіді розглядаються основні джерела невизначеності фотограмметричних вимірювань, їх застосування у машинобудуванні з використанням безкоштовного програмного забезпечення. Програма "PhotoM" призначена для вимірювальних мікроскопів і використовується тільки при відомих відстанях "a", в основному в біології та суміжних науках при попередньому калібруванні для кожного з змінних об'єктивів. Програма працює тільки в плоскому варіанті.

Ключові слова: невизначеність, фотограмметричні вимірювання.

INITIAL STEPS TO CONSTRUCTION UNCERTAINTY BUDGET FOR PHOTOGRAMMETRIC MEASUREMENTS IN MECHANICAL ENGINEERING

B.B. Sakakushev, G. K. Georgiev, I.S. Gelezarov

This report examines the main sources of uncertainty in the photogrammetric measurements with their application in mechanical engineering with the use of free software. Program called "PhotoM" and is designed for measuring microscopes and used pure only at known distances "a", mainly in biology and related sciences in the pre-calibration for each of interchangeable lenses. The program only works in the flat version.

Keywords: uncertainty, photogrammetric measurements.