

УДК 621.391

**С.В. Кравцов****ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССОГЛАСОВАНИЙ ПАРАМЕТРОВ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ СТЕРЕОЗРЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ ИНФОРМАЦИОННОГО И КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ СТЕРЕОПАРЫ**

*Рассматривается методика определения рассогласований параметров цифровой системы стереозрения, основанная на информационном и корреляционном анализе изображений стереопары. В качестве цифровой системы стереозрения анализируется система из двух сонаправленных цифровых видеокамер. Приводятся результаты модельных экспериментов по определению рассогласований цифровой системы стереозрения посредством информационного и корреляционного анализа изображений стереопары. Использование информационного и корреляционного анализ изображений стереопары определяет высокую точность получаемых оценок рассогласований параметров цифровой системы стереозрения.*

*Стереозрение; корреляционный анализ.*

**S.V. Kravtsov****DEFINITION OF DIGITAL STEREOVISION SYSTEM MISMATCHES THROUGH INFORMATION AND CORRELATION ANALYSIS OF STEREOPAIRS**

*Touches upon the method determining the mismatch parameters of the digital system stereovision based on the informative and correlative analysis of a stereo pair images. As digital stereovision system is analyzed system from two collinear digital camcorders. The results of model experiments to determine the digital stereovision system mismatches through informative and correlative stereo image analysis are presented. The use of informative and correlative stereo image analysis determines the high accuracy of the estimates of the digital stereovision system parameters mismatches.*

*Stereovision; correlation analysis.*

Выводы [1, 2, 3], полученные в ходе исследований статистических распределений ошибок измерений координат точечных объектов при рассогласованиях параметров цифрового стереоскопического измерителя, свидетельствуют, что любые рассогласования приводят к деформации измерительного пространства и ухудшению точности измерений цифровых бинокулярных систем технического зрения (БСТЗ). Эти выводы делают актуальными в первую очередь вопросы калибровки БСТЗ.

Патентные исследования в области калибровки БСТЗ выявили ряд недостатков и ограничений известных методов и подходов [4, 5, 6], применяемых для решения данной задачи.

Во-первых, в большинстве методов для калибровки используются информативные признаки рассогласований, выделяемые на изображениях стереопары по тестовому или эталонному объекту наблюдаемой сцены. Информативные признаки определяются в пиксельном пространстве фотоматриц, носят характер дискретных оценок и, следовательно, имеют ошибки, что не может не сказаться на результатах калибровки.

Во-вторых, в качестве тестовых или эталонных объектов наблюдаемой сцены выбираются либо специально созданные эталонные сцены, либо выбранные по каким-либо критериям реальные объекты наблюдаемой сцены. В первом случае ка-

либровка предполагает участие человека для установки в определенном месте тестового объекта-шаблона. Во втором случае затруднено определение стереобазы БСТЗ за счет незнания истинного положения (координат) выбранного тестового объекта.

В-третьих, существующие методы при определении информативных признаков рассогласований параметров БСТЗ не учитывают параллакс при наблюдении эталонного (тестового) объекта, что опять же сказывается на точности калибровки.

Рассматривается методика, позволяющая выявлять и оценивать рассогласования (несоосность – отклонения оптических осей видеокамер (ВК) по углу места  $\alpha$ , крена  $\beta$ , тангажа  $\gamma$ ; расфокусирование – разность фокусных расстояний объективов ВК  $\delta f = f_{ВК2} - f_{ВК1}$ ; смещение оптических центров ВК вдоль осей  $X - \delta x$ ,  $Y - \delta y$ ,  $Z - \delta z$ ) БСТЗ по одной тестовой таблице. Полагается, что проекционные искажения в стереопаре за счет аберрации объективов скомпенсированы. Дефекты фотоматриц ВК полагаются не существенными.

Специфика обусловлена нанесением двух идентичных тестовых изображений (мишеней), геометрические центры которых (рис. 1) разнесены на величину  $b$  базы. Тестовая таблица должна размещаться в области, где поля зрения обеих ВК не перекрываются, при этом мишень 1 попадает в поле зрения ВК1, а мишень 2 – в поле зрения ВК2. Линия, соединяющая геометрические центры мишеней, должна быть параллельна оси  $OX$ . Плоскость тестовой таблицы имеет наклон  $\vartheta$ . При идеальной согласованности параметров стереосистемы фиксируемые изображения от мишеней будут идентичны. Рассогласования параметров БСТЗ приведут к нарушению идентичности фиксируемых изображений мишеней. По характеру и размеру этих нарушений возможно установление вида рассогласования и его оценка.

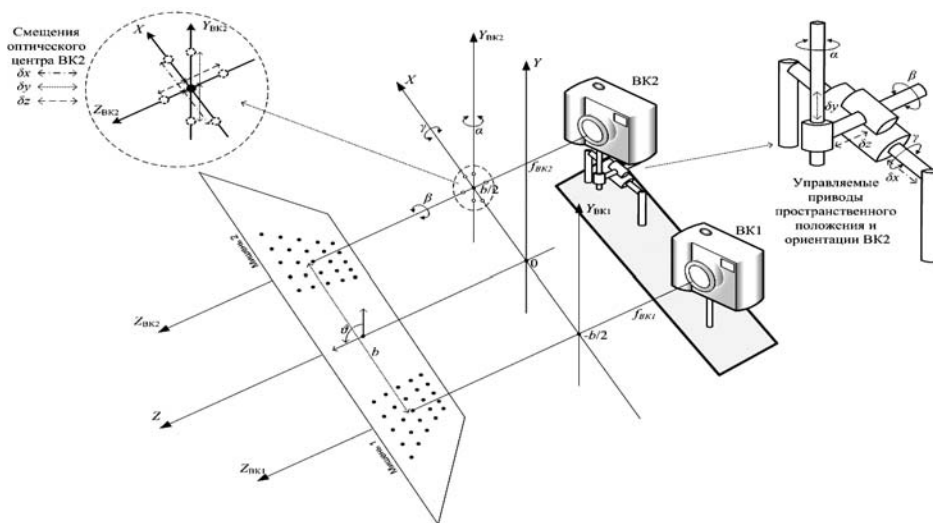


Рис. 1. Размещение тестовой таблицы для калибровки стереосистемы

Полагается, что все возможные рассогласования двух ВК в БСТЗ [3] можно привести к случаю рассогласования параметров 2-й ВК относительно 1-й.

Проведением сравнительного анализа изображений мишеней в стереопаре при моделировании рассогласований получены информативные признаки соответствующих рассогласований. Результаты представлены в табл. 1. Сравнительный анализ изображений стереопары производился путем простого наложения для выявления смещения центров мишеней тестовой таблицы и путем наложения с совмещением центров мишеней тестовой таблицы для выявления наличия и характера деформаций в изображениях стереопары.

Расположение указанных в табл. 1 квадрантов (обозначение – кв.) соответствует приведенному на рис. 2.

Таблица 1

**Информативные признаки рассогласований**

Тип рассогласования		Информативный параметр изображений (ВК2 в сравнении с ВК1)										
		Значение	Смещение геометрического центра изображения	По горизонтали				Смещение геометрического центра изображения	По вертикали			
				Изменение масштаба относительно геометрического центра изображения ВК2, иной признак					Изменение масштаба относительно геометрического центра изображения ВК2, иной признак			
1кв.	2кв.	3кв.	4кв.	1кв.	2кв.	3кв.	4кв.					
$\delta f$	$\delta f > 0$	нет	1. Расфокусирование				нет	Ув М				
	$\delta f < 0$		Уменьшение масштаба (Ум М)					Ум М				
2. Отклонения в направленности оптической оси ВК2 по отношению к направленности оптической оси ВК1												
по углу места	$\alpha > 0$	влево	незнач. Ув М	незнач. Ум М	незнач. Ув М	незнач. Ум М	нет	незнач. Ув М	незнач. Ум М	незнач. Ув М	незнач. Ум М	
	$\alpha < 0$	вправо	незнач. Ум М	незнач. Ув М	незнач. Ум М	незнач. Ув М	нет	незнач. Ум М	незнач. Ув М	незнач. Ум М	незнач. Ув М	
по углу крена	$\beta > 0$	нет	Вращение против часовой стрелки				нет	Вращение против часовой стрелки				
	$\beta < 0$		Вращение по часовой стрелке					Вращение по часовой стрелке				
по углу тангажа	$\gamma > 0$	нет	незнач. Ув М		незнач. Ум М		вверх	незнач. Ув М		незнач. Ум М		
	$\gamma < 0$		незнач. Ум М		незнач. Ув М			незнач. Ум М		незнач. Ув М		
3. Смещение оптического центра ВК2												
по оси X	$\delta x > 0$	вправо	нет				нет	нет				
	$\delta x < 0$	влево	нет					нет				
по оси Y	$\delta y > 0$	нет	нет				нет	вверх				
	$\delta y < 0$		нет					вниз				
по оси Z	$\delta z > 0$	нет	Ув М				нет	Ув М				
	$\delta z < 0$		Ум М					Ум М				

Анализ информативных признаков свидетельствует, что не всегда однозначно можно выявить вид рассогласования, присутствующий в БСТЗ, путем сравнительного анализа изображений стереопары. Например, расфокусирование и смещение оптического центра ВК2 по оси Z имеют схожие информативные признаки. Для различения расфокусирования и смещения оптического центра ВК2 по оси Z мишени тестовой таблицы должны быть трехуровневыми.

При задании комбинированных рассогласований сравнительный анализ изображений стереопары показывает наложение (комбинацию) информативных признаков, что существенно сужает его возможности для точной идентификации рассогласований и определения их величины.

В этих условиях для калибровки БСТЗ эффективным оказывается метод корреляционного анализа изображений. Первый метод, назовем его прямым методом, с использованием корреляционного анализа изображений стереопары заключается в обеспечении максимума взаимной корреляционной функции изображений  $S_{ВК1}$  и  $S_{ВК2}$  при управлении настройками параметров ВК2 по компенсации рассогласований  $\Delta$ . Действительно, главный максимум взаимокорреляционной функции достигается, когда изображения стереопары идентичны, и, следовательно, рассогласования  $\Delta$  в БСТЗ отсутствуют.

Другим (имитационным) методом определения величины рассогласований, основанным на корреляционном анализе, является имитационное моделирование, когда в известную (определенную) модель ВК1 искусственно вводят (с некоторым шагом  $\delta\Delta$ ) рассогласования  $\Delta$  и получают смоделированное изображение мишени  $S_{ВК1}(\Delta)$ , которое сравнивают с изображением  $S_{ВК2}$ . Максимум взаимной корреляционной функции изображений  $S_{ВК1}(\Delta)$  и  $S_{ВК2}$  дает оценку рассогласований  $\Delta$  БСТЗ. Вычисленные значения рассогласований могут быть использованы для принятия мер по их устранению или учитываются при измерениях координат объектов наблюдаемой сцены рассогласованной БСТЗ.

Как в первом, так и во втором методе, рассогласования  $\Delta$  будут определяться как вектор, содержащий компоненты несоосности, расфокусирования и смещения оптического центра ВК, с размерностью  $7 \times 1$ . Следовательно, в общем случае взаимная корреляционная функция изображений  $S_{ВК1}$  и  $S_{ВК2}$  должна находиться в семимерном про-

странстве рассогласований  $\Delta$ . Размерность пространства взаимной корреляционной функций может быть уменьшена за счет анализа информативных признаков рассогласований изображений стереопары (см. табл. 1). Отсутствие каких-либо из информационных признаков рассогласований говорит об отсутствии самих этих рассогласований, и, следовательно, размерность вектора рассогласований  $\Delta$  может быть понижена. Это снижает количество регулируемых (настраиваемых) параметров ВК2 для прямого метода или вычислительные затраты для имитационного метода.

Точность калибровки БСТЗ для прямого метода полностью определяется точностью приводов, регулирующих параметры ВК2. Для имитационного метода точность определения рассогласований БСТЗ не превышает величины половины шага нахождения взаимокорреляционной функции  $\delta\Delta/2$ .

Имитационные эксперименты проводились на модели БСТЗ с параметрами: расстояние между ВК (стереобаза) – 0,5 м; фокусные расстояния объективов ВК – 8 мм; размеры фотоматриц ВК –  $N \times M = 1600 \times 1200$ ; линейные размеры пикселей фотоматриц – 3 мкм.

Мишени тестовой таблицы имитировались трехуровневым набором контрастных точек. На матрицах ВК1 и ВК2 находились полутоновые изображения  $S_{ВК1}$  и  $S_{ВК2}$  соответствующих мишеней в 8-битной кодировке с шумами на уровне младшего разряда (соотношение сигнал/шум  $\approx 42$  дБ). При отсутствии рассогласований в БСТЗ значение нормированного коэффициента взаимной корреляции изображений  $S_{ВК1}$  и  $S_{ВК2}$  по серии из 100 расчетов лежало в пределах 0,95...0,96.

Несоосность, расфокусирование и смещение оптического центра задавались для параметров 2-й ВК в пределах малых значений: для расфокусирования – 0,5...0,5 мм, для угловых параметров направления оптической оси – 1...1 град и для смещений оптического центра – 1...1 см. На рис. 3 приведен пример наложения полученных полутоновых изображений стереопары  $S_{ВК1}$  и  $S_{ВК2}$  при наличии рассогласований.

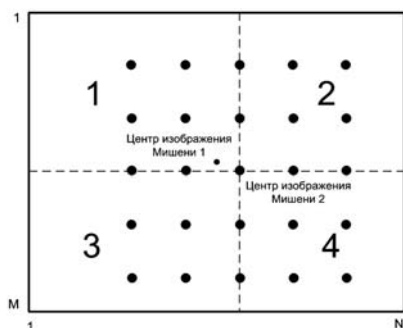


Рис. 2. Расположение указанных в табл. 1 квадрантов при анализе изображений стереопары, размерностью  $N \times M$  пикселей

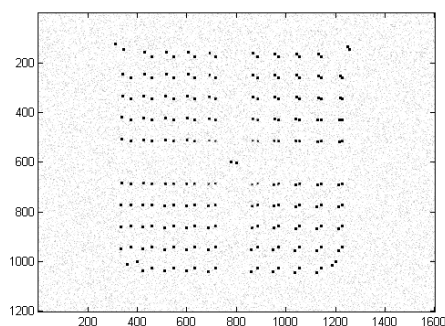


Рис. 3. Наложение  $S_{ВК1}$  и  $S_{ВК2}$  при наличии рассогласований пикселей

На рис. 4 приведены примеры определения имитационным методом рассогласований БСТЗ, заданных произвольным способом из указанных диапазонов, при размерности вектора рассогласований  $\Delta 2 \times 1$ .

Точка максимума нормированной взаимокорреляционной функции изображений  $S_{ВК1}$  и  $S_{ВК2}$  (указана для всех приведенных на рис. 4 случаев) дает оценку значений рассогласованности БСТЗ. Полученные оценки рассогласованности БСТЗ имитационным методом соответствуют заданным значениям вектора рассо-

гласований  $\Delta$ . Для больших размерностей вектора рассогласований при нахождении максимума нормированной взаимокорреляционной функции изображений  $S_{BK1}$  и  $S_{BK2}$  достигались аналогичные результаты по оценке значений вектора рассогласований БСТЗ.

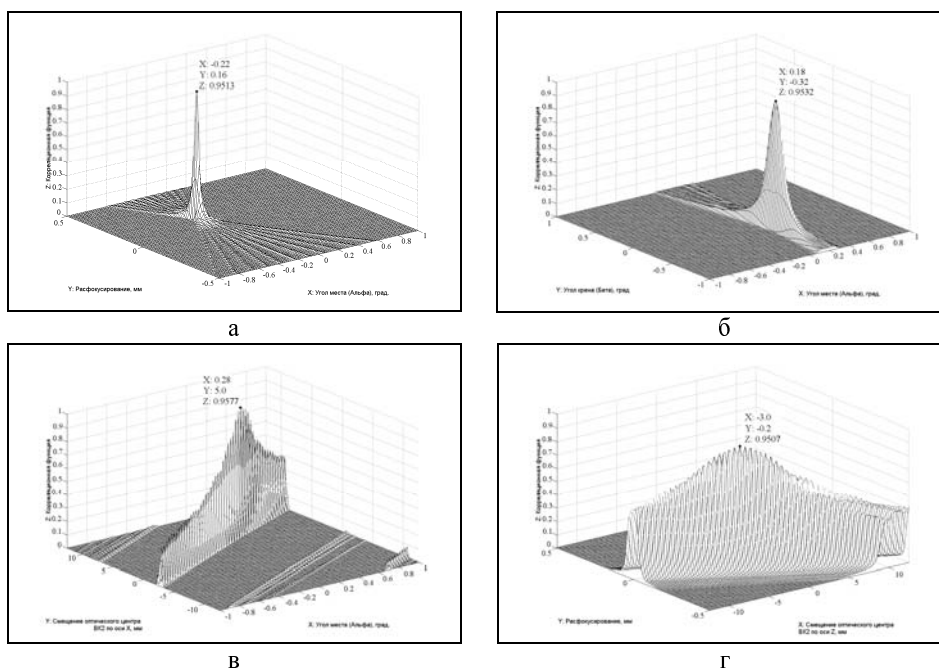


Рис. 4. Нормированные взаимокорреляционные функции изображений  $S_{BK1}$  и  $S_{BK2}$  при рассогласованиях: а – по углу места и расфокусированию; б – по углам места и крена; в – по углу места и смещению оптического центра ВК2 по оси X; г – расфокусированию и смещению оптического центра ВК2 по оси Z

Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования корреляционного анализа для калибровки цифровой БСТЗ. Путем создания идентичных тестовых сцен для каждой из ВК удастся избежать параллакса наблюдаемой сцены в стереопаре и тем самым обеспечить высокую точность корреляционных методов калибровки БСТЗ. Рассмотренные методы могут быть полезны для реализации процедур автономной автоматической калибровки БСТЗ, используемых в составе навигационных комплексов ближнего действия мобильных робототехнических систем.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Румянцев К.Е., Кравцов С.В. Анализ измерительного пространства цифровой телевизионной стереоскопической системы. Точечное и интервальное оценивание координат точек трехмерной сцены // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2011. – Т. 7, № 3. – С. 38-48.
2. Румянцев К.Е., Кравцов С.В. Анализ ошибок измерений глубины точек трехмерной сцены цифровой телевизионной стереоскопической системой // Радиотехника. – 2011. – № 9. – С. 83-93.
3. Кравцов С.В. Зависимость точности идентификации точечных объектов от рассогласований параметров стереоскопического измерителя // Информационное противодействие угрозам терроризма. – 2011. – № 17. – С. 31-52.
4. Шатило Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман: Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2006. – 752 с.

5. *Маркович Д.М., Токарев М.П.* Алгоритмы реконструкции трехкомпонентного поля скорости в методе STEREO PIV // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. – 2008. – Т. 9, № 1. – С. 311-326.
6. *Крайский А.В., Миронова Т.В.* Калибровка оптической системы корреляционным методом. Краткие сообщения по физике ФИАН. – М., 2008. – № 8. – С. 14-24.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Г.А. Галуев.

**Кравцов Сергей Валентинович** – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: krsvtg@rambler.ru; 347928, г. Таганрог, ул. Чехова, 2; тел.: 88634315507; кафедра информационной безопасности телекоммуникационных систем; заведующий лабораториями.

**Kravtsov Sergey Valentinovich** – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: krsvtg@rambler.ru; 2, Chekhov street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634315507; the department of information security telecommunication systems; head of laboratories.