

С 344.10

И-201

ИТЭ, 1966, №6, с. 66-68.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P - 2468



В.Г. Иванов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
ФОТОКАМЕР НА ТОЧНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КАРТИНЫ
РЕГИСТРИРУЕМЫХ ИМИ СОБЫТИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

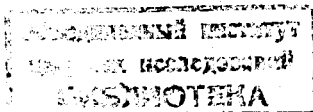
1965

P-2468

В.Г. Иванов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
ФОТОКАМЕР НА ТОЧНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КАРТИНЫ
РЕГИСТРИРУЕМЫХ ИМИ СОБЫТИЙ

Направлено в ПТЭ



3891/2 38

Точность восстановления пространственной картины регистрируемых в трековой камере событий определяется характеристиками применяемых для съемки фотокамер (объективов). В связи с отсутствием в литературе данных о влиянии характеристик фотокамер на точность определения пространственных координат было проведено экспериментальное исследование этого вопроса.

1. Характеристики фотокамер, используемых в стереофотограмметрии, и их влияние на точность вычисления пространственных координат

Основными характеристиками фотокамер, которые используются при вычислении пространственных координат по формулам стереофотограмметрии, являются:^{1/}

1. Координаты главной точки снимка (x_0 , y_0) относительно меток на предметном стекле (рис. 1).
2. Зависимость β (ρ), здесь: β — угол между оптической осью фотокамеры и главным лучом из некой пространственной точки, ρ — радиус — вектор изображения этой точки (рис. 1).
3. Зависимость продольной сферической аберрации зрачка входа от β или ρ .
4. Реальное фокусное расстояние фотокамеры — f .

При изготовлении фотокамер могут иметь место отклонения реальных параметров от расчетных, децентрировка линз и т.п. Поэтому реальные характеристики камер всегда отличаются от идеальных. Очевидно, что качество фотокамеры определяется погрешностями ее реальных характеристик, возникающих вследствие несовершенства объективов.

Легко показать, что при съемке в воздухе с высоты одного метра точность определения Z -ой координаты ΔZ для углов зрения от 10 до 40° составляет $0,3-0,5$ мм, если погрешности в углах $-\Delta\beta$ равны одной минуте. При съемке через среды с показателями преломления $n > 1$ ΔZ возрастает в полтора-два раза, так как $\frac{\partial Z}{\partial \beta}$ прямо пропорциональна n^2 . Если потребовать, чтобы ошибка в Z -ой координате, обусловленная погрешностями зависимости $\beta(\rho)$, не превышала $0,2-0,3$ мм, то из этого вытекает условие:

$$\Delta\beta < 15 - 20 \text{ сек.} \quad (1)$$

Из этого условия следует, что:

1. Нужно либо экспериментально измерить зависимость $\beta(\rho)$, либо определить фокусное расстояние фотокамер с точностью $\pm 0,01\%$.

2. Координаты главной точки снимка нужно звать с погрешностями, не большими 2-3 мкм.

2. Методика определения характеристик фотокамер

Исследование проводилось на специальных фотокамерах "Гидро-Руссар-4", предназначенных для съемки трекв в метровой пузырьковой камере ОИЯИ^{/2/}. Для каждой камеры были измерены зависимости $\beta(\rho_1)$. (I - I, II, III, IV, V) при пяти различных ориентациях радиус - вектора в плоскости изображения (рис.1). Измерения производились на установке, состоящей из зрительной трубы, системы диафрагм, поворотного столика, на котором устанавливалась фотокамера, и сетки Готье^{/3/}.

Углы отсчитывались от оси, проходящей через центральную метку на предметном стекле (т. 0 на рис. 1). Точность измерения β и ρ составляла 5 сек и 1 мкм. Установки такого типа обычно применяются в оптике для определения фокусного расстояния фотокамер.

Обработка результатов измерений производилась в следующей последовательности:^{/4/}

1. Определялись координаты x_0, y_0 главной точки O снимка (рис. 1).

2. Измеренные значения $\beta(\rho_1)$ пересчитывались относительно новой оси, проходящей через O.

3. С помощью квадратичной интерполяции результаты измерений $\beta(\rho)$ приводились к значениям ρ , кратным 5 мм, и усреднялись.

4. Вычислялись ошибки в значениях углов ($\delta\beta$).

(2)

3. Методика и результаты исследования влияния характеристик фотокамер на точность вычисления пространственных координат

Для исследования влияния характеристик фотокамер на точность вычисления пространственных координат были выбраны четыре фотокамеры. Две - с почти идентичными характеристиками (I стереопара) и небольшими погрешностями в углах ($\delta\beta < 10 \text{ сек.}$).

Две (II - стереопара) - с заметно различающимися зависимостями $\beta(\rho)$ и большими погрешностями в β (таблицы 1 и 2).

С помощью этих камер были сфотографированы перекрестия, навесенные на стеклянных пластинах, ограничивающих рабочий объем пузырьковой камеры. Перекрестия наносились на двух прямых, одна из которых была перпендикулярна базе съемки, а вторая параллельна ей. Минимальное расстояние между перекрестиями - 50 мм. Фотографирование производилось одновременно двумя стереопарами, расстояние между которыми составляло 870 мм. База съемки - 400 мм.

На микроскопе УИМ-21 измерялись координаты реперных точек ($0, M_1, M_2, M_3$) и координаты изображений одних и тех же перекрестий (соответствующих точек) на снимках стереопары. Точность измерений составляла 0,1 мм для X, Y и 0,4 мм для Z.

Пространственные координаты перекрестий X_1, Y_1, Z_1 вычислялись по формулам:

$$X = \frac{Bx_1}{x_1 + x'_1 \cdot y_1 / y'_1}; \quad Y = \frac{By_1}{x_1 + x'_1 \cdot y_1 / y'_1}; \quad (3)$$

$$Z = \left(\frac{Br_1}{x_1 + x'_1 \cdot y_1 / y'_1} - \sum_{k=1}^m \frac{d_k \cdot \sin \beta(r)}{\sqrt{n_k^2 - \sin^2 \beta(r_1)}} \right) \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \beta(r_1)}}{\sin \beta(r_1)}$$

Здесь: x_1, y_1 и x'_1, y'_1 - координаты соответствующих точек; $r = \sqrt{x_1^2 + y_1^2}$; d_k и n_k - толщины и показатели преломления сред, через которые производится съемка. Ось X -ов совпадает с базой съемки, ось Y -ов перпендикулярна ей.

При вычислении X, Y и Z вводилась поправка на усадку пленки и полагалось, что, если $y (y') < 10$ мм, то $y/y' = 1$. Последнее связано с тем обстоятельством, что величина отношения y/y' при небольших значениях y (< 10) мм из-за ошибок измерений и разнофокусности объективов заметно отличается от своего истинного значения.

Обсчет результатов измерений показал, что:

1. Среднеквадратичные ошибки определения пространственных координат по снимкам 1-й стереопары (составленной из камер с почти идентичными характеристиками) составляют: 0,2 мм для X, Y и 0,7 мм для Z.

2. Точность определения координат по снимкам второй стереопары существенно хуже. Так, например, в этом случае среднеквадратичная ошибка в Z составляет около 2,0 мм. Кроме этого, также наблюдаются следующие искажения значений X и Y:

а) Вычисленные значения X-ых координат точек, лежащих на пространственных

прямых, перпендикулярных базе съемки, смещаются при переходе через базисную линию на 1,5 - 2,0 мм.

в) Аналогичные смещения имеют место при вычислении координат точек, лежащих вблизи базы съемки. Причем значения Y -ых координат зависят от выбора начала координат, и их разность составляет около 2 мм.

Выводы

Основные результаты проведенного исследования заключаются в следующем:

1. Теоретические оценки влияния характеристик фотокамер на точность вычисления пространственных координат хорошо согласуются с экспериментальными данными.
2. При стереосъемке фотокамерами с почти идеальными характеристиками можно вычислять пространственные координаты точек по формулам стереофотограмметрии с погрешностями, близкими к ошибкам измерений.
3. При стереосъемке фотокамерами с отличающимися характеристиками ($f_1 - f_2 \approx 0,8$ мм) нужно проводить специальные исследования для экспериментального определения поправок к формулам стереофотограмметрии или использовать другую методику^{1/5/}.
4. При выборе фотокамер для стереосъемок в трековых камерах целесообразно проводить тщательное исследование характеристик каждого объектива, т.к. это может существенно снизить ошибки в координатах и упростить методику восстановления пространственной картины событий.

В заключение автор выражает глубокую благодарность В.П. Джелову за постоянное внимание и ценные советы.

Литература

1. Э.М. Лившиц. Вопросы физики элементарных частиц. Изд. АН Арм. ССР, 1964, стр. 558.
2. А.В. Богомолов и др. ПТЭ, № 1, 61 (1964).
3. М.М. Русинов. Фотограмметрическая оптика. Москва. Геодезиздат, 1962.
4. Е.М. Андреев, Л.С. Вертоградов, В.Г. Иванов. Препринт ОИЯИ, 2051, 1965.
5. Proceedings of the Informal Meeting on Geometry Programmes for heavy Liquid Chamber. GENEVA, 1963.

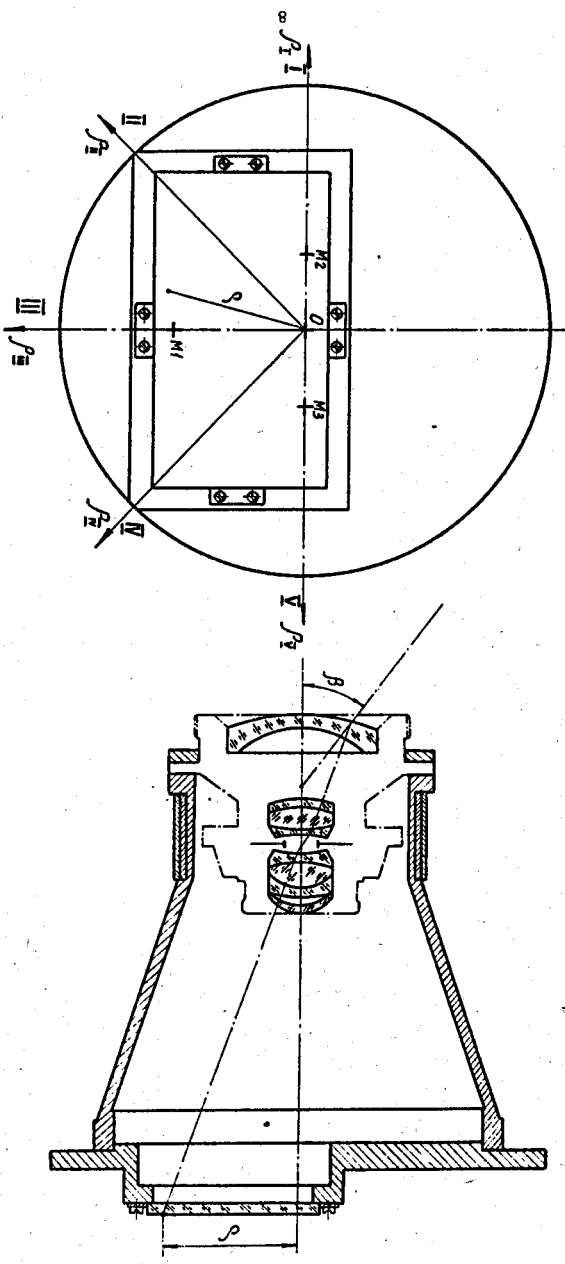
Рукопись поступила в издательский отдел
26 ноября 1965 г.

Таблица 1

	I стереопара			2 стереопара		
	1	2	3	3	4	4
ρ /см	β	β	β	β	β	β
0,0	00 ⁰ 00' 00"	00 ⁰ 00' 00"	00 ⁰ 00' 00"	00 ⁰ 00' 00"	00 ⁰ 00' 00"	00 ⁰ 00' 00"
0,5	02 50 43	02 50 35	02 48 23	02 48 23	02 48 29	02 48 29
1,0	05 41 08	05 41 05	05 36 36	05 36 36	05 36 56	05 36 56
1,5	08 30 48	08 30 49	08 24 08	08 24 08	08 24 40	08 24 40
2,0	11 19 39	11 19 39	11 10 49	11 10 49	11 11 32	11 11 32
2,5	14 07 18	14 07 16	13 56 19	13 56 19	13 57 16	13 57 16
3,0	16 53 29	16 53 23	16 40 24	16 40 24	16 41 34	16 41 34
4,0	22 20 28	22 20 11	22 03 21	22 03 21	22 05 01	22 05 01
4,5	25 00 51	25 00 32	24 41 17	24 41 17	24 43 40	24 43 40
5,0	27 38 54	27 38 24	27 17 54	27 17 54	27 20 22	27 20 22
5,5	30 14 21	30 13 41	29 51 28	29 51 28	29 53 54	29 53 54
6,5	35 16 52	35 15 59	34 50 33	34 50 33	34 53 37	34 53 37
7,0	37 44 02	37 42 47	37 16 00	37 16 00	37 19 21	37 19 21
7,5	40 07 58	40 06 37	39 38 27	39 38 27	39 42 00	39 42 00
8,0	42 28 47	42 27 17	41 57 45	41 57 45	42 01 41	42 01 41

Таблица 2

№ ф/к	$\delta\bar{\beta}$ сек	$\delta\beta_{\max}$ сек	t мм	$x \pm \Delta x$ мкм	$y \pm \Delta y$ мкм
1	9	22	97,71	6 ± 3	8 ± 2
2	7	21	97,70	4 ± 1	0 ± 1
3	13	31	98,36	10 ± 1	3 ± 1
4	23	69	98,95	4 ± 1	3 ± 1



Р и с. 1. Фотограмметрическая камера "Турпо-Руссар-4".