

УДК 623.592.045

С. Ф. Егоров, кандидат технических наук, доцент, Институт механики УрО РАН, Ижевск

В. В. Коробейников, кандидат технических наук, Институт механики УрО РАН, Ижевск

В. С. Казаков, кандидат технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

И. Г. Корнилов, кандидат технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ОТБОРА ВИДЕОКАМЕР ДЛЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СТРЕЛКОВЫХ ТРЕНАЖЕРАХ

Предложены методика испытания и критерии оценки пригодности видеокамеры в качестве регистратора точки прицеливания в стрелковом тренажере. Приведены результаты экспериментальных исследований применения методики для ряда моделей камер.

Ключевые слова: стрелковый тренажер, видеокамера, погрешность.

В электронных стрелковых тренажерах общего назначения [1, 2] основным компонентом является регистратор точки прицеливания (РТП) имитатора оружия [3, 4], в качестве которого можно использовать общедоступную видеокамеру (далее камера). Решение о применении конкретной модели камеры должно основываться на методике испытания и критериях оценки ее характеристик. Камера должна удовлетворять требованиям по точности передачи изображения (например, средняя точность регистрации точки прицеливания должна быть не хуже 0,75 тысячной дальности [3]), а размеры и вес камеры должны позволять монтировать ее на ствол имитатора оружия.

С учетом вышеизложенного предлагается следующая методика испытания и получения характеристик камеры для определения возможности ее использования в качестве РТП. Камера устанавливается в специальное технологическое гнездо на расстоянии 5 м от проекционного экрана шириной 2 метра и подключается к ПЭВМ (рис. 1). Под управлением ПЭВМ и специального программного обеспечения (СПО) через видеопроектор осуществляется вывод на экран картинки, представляющей собой 15 строк по 25 точек диаметром 3 см белого цвета на черном фоне с шагом 8 см (рис. 2), которая полностью покрывает экран (координаты этих точек в системе ПЭВМ известны как точные координаты). При ширине экрана в 848 компьютерных пикселя 1 т. д. соответствует 5 мм экрана или 2,12 пикселя (соответственно, 0,75 т. д. = 1,59 pix).

Далее с помощью проверяемой камеры изображение картинки считывается в память ПЭВМ, где по этому изображению определяются координаты центров расположения белых точек (в системе координат камеры). Эти координаты будем называть измеренными координатами.

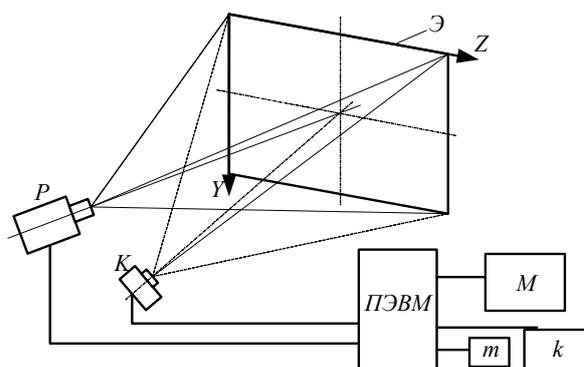


Рис. 1. Схема стенда для получения первичной информации: ПЭВМ – персональный компьютер; P – видеопроектор; Э – экран (плоскость регистрации); K – камера; M – монитор; k – клавиатура; m – мышь

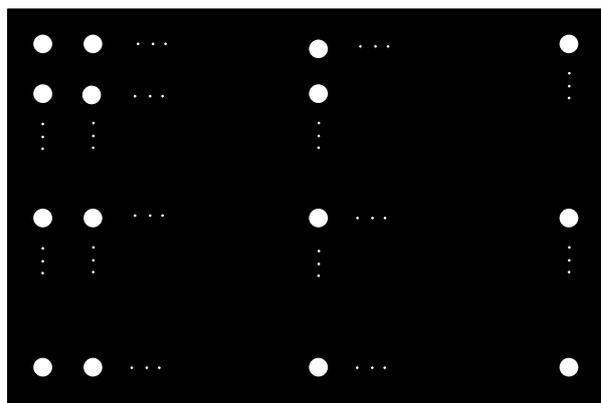


Рис. 2. Расположение точек на экране

Определение вычисленных координат осуществляется с помощью регрессионных уравнений, в качестве которых используются следующие полиномы (математические модели).

Полином № 1:

$$rz_i = zi + a_1 + a_2zi_i + a_3yi_i;$$

$$ry_i = yi + b_1 + b_2zi_i + b_3yi_i.$$

Полином № 2:

$$rz_i = zi + a_1 + a_2zi_i + a_3yi_i + a_4zi_iyi_i;$$

$$ry_i = yi + b_1 + b_2zi_i + b_3yi_i + b_4zi_iyi_i.$$

Полином № 3:

$$rz_i = zi + a_1 + a_2zi_i + a_3yi_i + a_4zi_iyi_i + a_5yi_i/zi_i;$$

$$ry_i = yi + b_1 + b_2zi_i + b_3yi_i + b_4zi_iyi_i + b_5yi_i/zi_i.$$

Полином № 4:

$$rz_i = zi + a_1 + a_2zi_i + a_3yi_i + a_4zi_iyi_i + a_5yi_i^2zi_i + a_6yi_i^2zi_i^2;$$

$$ry_i = yi + b_1 + b_2zi_i + b_3yi_i + b_4zi_iyi_i + b_5yi_i^2zi_i + b_6yi_i^2zi_i^2.$$

Полином № 5:

$$rz_i = zi + a_1 + a_2zi_i + a_3yi_i + a_4zi_iyi_i + a_5yi_i^2zi_i + a_6yi_i^2zi_i^2 + a_7(yi_i^2zi_i^2);$$

$$ry_i = yi + b_1 + b_2zi_i + b_3yi_i + b_4zi_iyi_i + b_5yi_i^2zi_i + b_6yi_i^2zi_i^2 + b_7(yi_i^2zi_i^2),$$

где rz_i, ry_i – вычисленные (скорректированные) координаты точек; zi_i, yi_i – измеренные координаты; i – порядковый номер точки; $a_1, \dots, a_n, b_1, \dots, b_n$ – коэффициенты полиномов для коррекции координат Z и Y ; n – количество коэффициентов (зависит от используемого полинома).

Коэффициенты полиномов определяются по методу наименьших квадратов (МНК) из условия минимума суммы квадратов разностей между точными и измеренными значениями координат с учетом расположения координатной системы и последовательности нумерации точек, которая осуществляется слева направо и сверху вниз.

Характерные точки (точки, координаты которых использовались при определении коэффициентов полиномов) задаются в виде вектора их номеров. Выбор этих точек осуществляется таким образом, чтобы рабочее поле (все поле регистрации или только центральная зона в случае тренажера с ЖК-телевизором [2]) было покрыто ими равномерно и среди них не было точек с аномальными координатами из-за сбоя или погрешностей измерений. Характеристики камер вычисляются в математическом пакете Matlab. Блок-схема программы показана на рис. 3. Расчеты были выполнены для двух вариантов работы: по всему полю (15×25 точек) и только по центральной зоне (9×13 точек). В табл. 1 приведены значения средних квадратических отклонений (СКО) погрешностей (между точными и вычисленными координатами) в зависимости от используемого полинома

в случае работы по всему полю, а в табл. 2 – по центральной зоне. На рис. 4 в качестве примера показан график зависимости СКО погрешностей от используемого полинома для камеры с-090 в случае работы по всему полю и по центральной зоне. На рис. 5 и 6 показаны графики погрешностей по координатам Z и Y для каждой точки в случае использования полинома № 1 по всему полю регистрации и по центральной зоне.



Рис. 3. Блок-схема алгоритма вычисления характеристик камер

Качество камер по величине искажений лучше оценивать при использовании полинома № 1, а оценку нелинейности погрешностей, чтобы определить степень исправления (корректировки) измеренных координат, – при использовании полинома более высокого порядка. В табл. 3 приведены результаты анализа пригодности исследуемых камер, при этом вычисленные выше погрешности переведены в тысячных дальности. Камеры оценивались по двум критериям: СКО погрешности меньше допустимой величины (0,75 т. д. = 1,59 pix) по всему полю регистрации (тренажер с проектором) – полная годность –

и СКО погрешности меньше допустимой величины (0,75 т. д. = 1,59 pix) по центральной зоне регистрации (тренажер с ЖК-телевизором) – ограниченная годность. Все камеры достигают ограниченной год-

ности на полиноме № 3, качественные камеры достигают полной годности на полиноме № 4, простые камеры не достигают полной годности даже на полиноме № 5.

Таблица 1. СКО погрешностей в пикселях в случае работы по всей области

№	Шифр камеры	Номер регрессионного уравнения					
		1	2	3	4	5	
1	с-090	σ_{dz}	10,57	10,295	9,353	4,149	3,147
		σ_{dy}	6,966	2,119	2,052	1,7	1,128
2	G3	σ_{dz}	4,029	3,662	3,268	1,941	1,512
		σ_{dy}	3,049	1,123	1,073	0,608	0,601
3	gio	σ_{dz}	2,392	2,386	2,328	1,669	1,551
		σ_{dy}	2,125	1,145	1,132	1,081	0,723
4	JK	σ_{dz}	5,486	4,868	3,766	3,477	3,049
		σ_{dy}	4,579	2,790	2,785	2,344	1,586
5	lcd2	σ_{dz}	3,903	3,717	3,205	1,951	1,392
		σ_{dy}	3,102	0,836	0,752	0,411	0,401
6	mx4	σ_{dz}	2,697	2,501	2,383	1,523	1,358
		σ_{dy}	2,146	0,902	0,895	0,742	0,650
7	SVR300	σ_{dz}	8,576	8,516	5,989	5,215	4,252
		σ_{dy}	5,255	3,514	3,483	3,191	2,342
8	tz20	σ_{dz}	2,601	2,502	2,266	1,397	1,160
		σ_{dy}	2,074	0,762	0,717	0,581	0,489
9	x-15	σ_{dz}	3,067	3,029	2,725	1,746	1,433
		σ_{dy}	2,639	1,021	0,987	0,756	0,409

Таблица 2. СКО погрешностей в пикселях в случае работы по центральной зоне

№	Шифр камеры	Номер регрессионного уравнения					
		1	2	3	4	5	
1	C-090	σ_{dz}	2,545	2,519	1,192	0,745	0,643
		σ_{dy}	2,123	0,645	0,468	0,410	0,358
2	G3	σ_{dz}	0,988	0,879	0,432	0,325	0,306
		σ_{dy}	0,922	0,330	0,270	0,145	0,139
3	GIO	σ_{dz}	0,497	0,479	0,441	0,399	0,395
		σ_{dy}	0,597	0,369	0,327	0,279	0,236
4	JK	σ_{dz}	1,330	1,109	0,415	0,486	0,415
		σ_{dy}	1,422	0,750	0,741	0,494	0,283
5	LCD2	σ_{dz}	0,965	0,911	0,455	0,315	0,263
		σ_{dy}	0,933	0,221	0,154	0,141	0,141
6	MX4	σ_{dz}	0,654	0,607	0,376	0,291	0,288
		σ_{dy}	0,636	0,237	0,203	0,165	0,165
7	SVR300	σ_{dz}	2,144	2,129	0,749	0,807	0,589
		σ_{dy}	1,578	0,853	0,763	0,624	0,407
8	TZ20	σ_{dz}	0,569	0,554	0,372	0,291	0,288
		σ_{dy}	0,599	0,227	0,177	0,167	0,159
9	X-15	σ_{dz}	0,862	0,649	0,559	0,483	0,481
		σ_{dy}	0,951	0,638	0,542	0,267	0,165

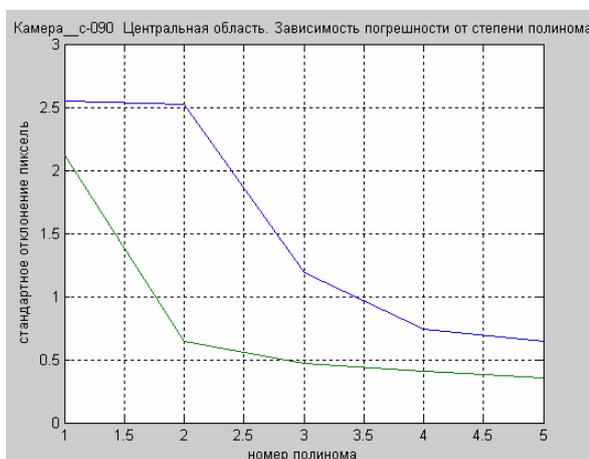
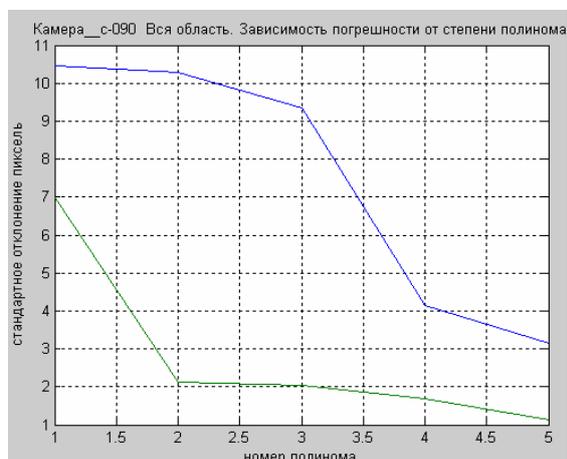


Рис. 4. Зависимость СКО погрешностей от используемого полинома в случае работы по всей области и по центральной зоне (верхний график – σ_z ; нижний график – σ_y)

Исследования показали, что крупногабаритные камеры (№№ 1–4 в табл. 3) обеспечивают минимальные погрешности, но использование их в качестве РТП технически невозможно. Удовлетворительные погрешности показали и миниатюрные встроенные фотокамеры сотовых телефонов (№№ 5, 6 в табл. 3), но использовать их также технически затруднительно. Оптика же широкоугольных объективов общедоступных миниатюрных

монтируемых камер (№№ 7–9 в табл. 3) вносит существенные геометрические aberrации – неравномерную бочкообразность (или подушкообразность), иногда превышающую допуск, и хроматические aberrации – по краям поля обзора падает яркость и увеличивается расслоение цветов (слева появляются красные полосы, а справа синие), что обеспечивает им только ограниченную годность для тренажеров на основе ЖК-телевизора.

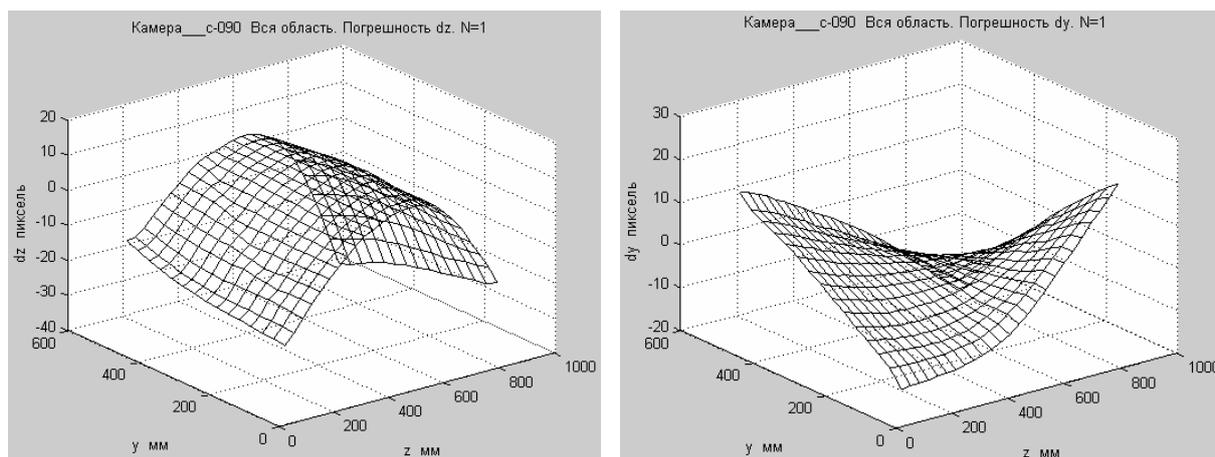


Рис. 5. Погрешность вычисленных координат у камеры С-090 в случае работы по всей области и использовании полинома № 1

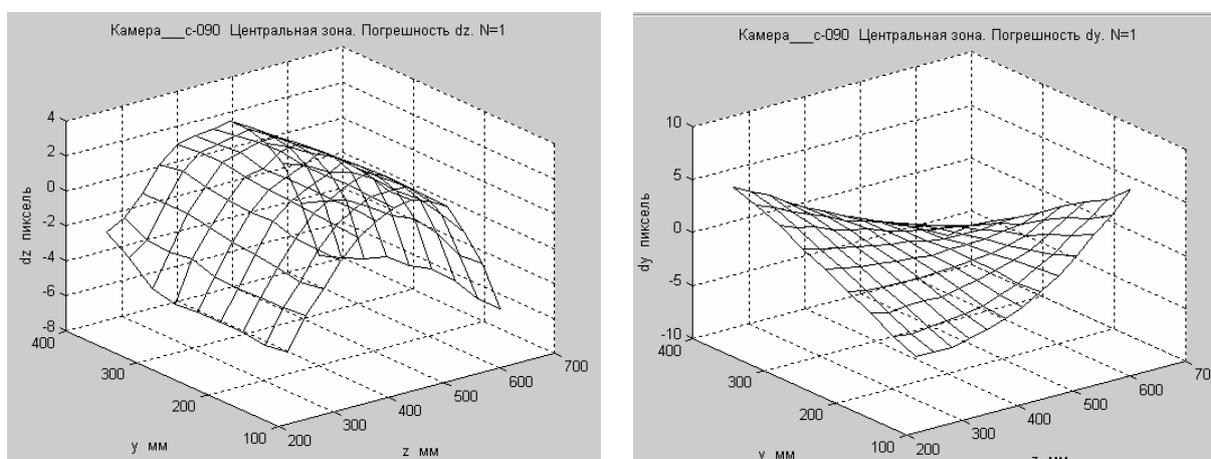


Рис. 6. Погрешность вычисленных координат у камеры С-090 в случае работы по центральной зоне и использовании полинома № 1

Таблица 3. Анализ пригодности исследованных камер в качестве РТП

№	Модель камеры	Шифр камеры	Мат. модель	Сред. отклонение по всему полю, т. д.	Сред. отклонение по центру поля, т. д.	Годность, нет / полная / ограниченная
1	LUMIX G3	G3	Полином № 5	0,7132	0,1443	полная
2	LUMIX TZ20	TZ20	Полином № 4	0,659	0,1373	полная
3	PENTAX Optio mx4	MX4	Полином № 4	0,7184	0,1373	полная
4	MUSTEK LCD2	LCD2	Полином № 5	0,6566	0,1241	полная
5	SAMSUNG GIO	GIO	Полином № 5	0,7316	0,1863	полная
6	GStar X15	X15	Полином № 5	0,6759	0,2269	полная
7	RITMIX SVR-300	SVR-300	Полином № 5	<u>2,006</u>	0,2778	ограниченная
8	JMK JK-805D	JK	Полином № 5	<u>1,438</u>	0,1958	ограниченная
9	Defender C-090	C-090	Полином № 5	<u>1,484</u>	0,3033	ограниченная

Таким образом, предлагаемые методика испытаний и критерии оценки обеспечивают обоснованный отбор камер для использования их в электронных стрелковых тренажерах начального обучения стрельбе. Исследования показывают необходимость продолжения разработки алгоритма коррекции недопустимых искажений с использованием различных полиномов и многозонной работы с целью ослабления требований, предъявляемых к камерам.

Библиографические ссылки

1. Перспективы развития электронных стрелковых тренажеров / В. С. Казаков, В. В. Коробейников, С. Ф. Егоров, И. Г. Корнилов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2010. – № 2(16). – С. 138–142.
2. Стрелковый тренажер на общедоступных компонентах / С. Ф. Егоров, В. С. Казаков, В. В. Коробейников // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 1(17). – С. 182–190.

3. Регистратор точки прицеливания на базе видеокамеры / С. Ф. Егоров, В. С. Казаков, В. В. Коробейников // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 1(17). – С. 177–182.

4. Корнилов И. Г. Измерительно-вычислительная система определения точки попадания в стрелковом тренажере коллективного боя // Вестник ИжГТУ. – 2012. – № 2(54). – С. 110–113.

S. F. Egorov, PhD in Engineering, Associate Professor, Institute of Mechanics of the Ural Branch of RAS, Izhevsk

V. V. Korobeynikov, PhD in Engineering, Institute of Mechanics of the Ural Branch of RAS, Izhevsk

V. S. Kazakov, PhD in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

I. G. Kornilov, PhD in Engineering, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Development of Methodology for Testing and Studying the Selection Criteria for Camcorder Used in Firearms Training

The paper proposes testing procedure and criteria for assessing the suitability of a video camera as a registrar in the aiming point shooting simulator. Experimental results of applying the methodology are given for a number of camera models.

Keywords: shooting training apparatus, video camera, error.

Получено 29.04.14

УДК 621.391.8

О. А. Волков, соискатель, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

И. З. Климов, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ СИГНАЛА НА ЕГО СКРЫТНОСТЬ

Исследуется влияние структуры сигналов на значение скрытности. Показана зависимость скрытности от выбора базисных функций. Выполнено сравнение скрытности различных сигналов.

Ключевые слова: сигнал, скрытность, базисные функции, критерий, разведка.

Передача сигналов на радиочастотах происходит в открытой среде. В данных условиях актуальной является задача по скрытию как самого факта передачи, так и передаваемой информации. Один из параметров сигнала, позволяющий изменять уровень скрытности, – это его структура. Целью данной работы является анализ возможных структурных изменений сигнала, которые позволяют повысить показатель его скрытности.

Критерий оценки скрытности предлагаемых структурных изменений выбран исходя из того, что станция радиотехнической разведки не обладает знаниями о структуре сигнала. Методика расчета потенциальной структурной скрытности использована в соответствии с [1]. Структурная скрытность определяется числом двоичных измерений (ДИЗ), которые необходимо провести для раскрытия структуры сигнала. Общее выражение для потенциальной скрытности имеет вид

$$S = \log_2 A, \quad (1)$$

где A – допустимые значения какого-либо параметра сигнала (арсенал событий). Таким параметром может быть несущая частота, структура кода, время прихода сигнала и др.

Интересным для исследования представляется сигнал с модуляцией со многими несущими (ММН), основанный на использовании дискретного преобразования Фурье. Обычно такой сигнал представляют

в виде некоторого количества независимых квадратурных амплитудно-модулированных (КАМ) поднесущих, имеющих одинаковую скорость передачи и независимые КАМ-созвездия. База сигнала с ММН примерно равна числу поднесущих. Далее в качестве модуляции каждой поднесущей будем рассматривать двойную относительную фазовую манипуляцию (4-ОФМ), представляющую собой частный случай квадратурной амплитудной манипуляции. Количество точек созвездия этого вида модуляции равно 4, и они располагаются равномерно по окружности через угол 90° . Дискретная информация сигнала с ММН-4-ОФМ передается путем изменения разности фаз двух соседних символов сигнала с ММН, состоящих из N КАМ-поднесущих, каждая из которых независимо кодируется 4-ОФМ. Таким образом, при передаче одного символа сигнала с ММН передается $2N$ бит сообщения.

При возникновении ошибки в передаваемом символе одной поднесущей с наибольшей вероятностью он превратится в один из соседних с ним символов. Поэтому при построении системы 4-ОФМ часто используется код преобразования бинарных символов в двухбитовые такой, что двоичные последовательности, соответствующие соседним символам (сдвигам фаз), отличаются только одной битовой позицией. Таким образом, ошибка возникнет только в одном бите принимаемой информации. Кодом с таким свойством является код Грея. Очевидно, что приме-