

УДК

## ЦИФРОВАЯ МЕРА ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВИДЕОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Муренков Юрий Юрьевич<sup>(1)</sup>

*Магистр 1 года<sup>(1)</sup>,*

*кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: А.С. Кошкин,*

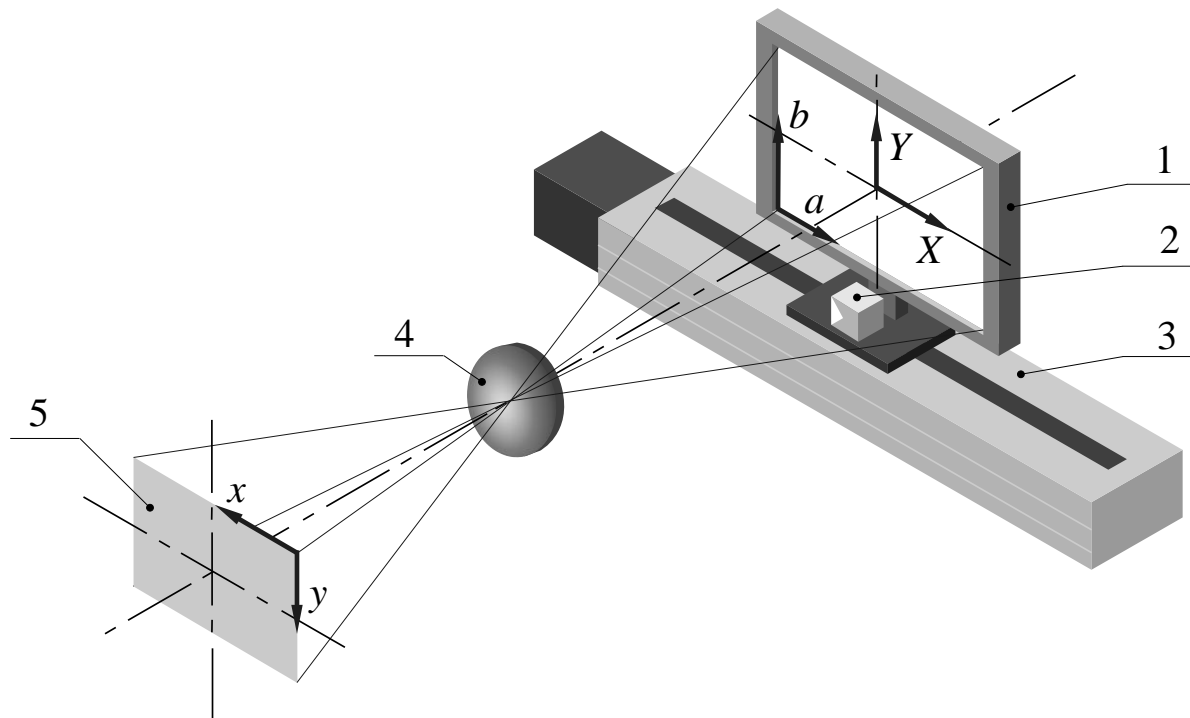
*доктор технических наук, профессор кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»*

В настоящее время широко распространяются средства измерений, основанные на обработке видеоизображений или видеоизмерительные системы (ВИС), а в Федеральный информационный фонд вводятся новые средства бесконтактных измерений длины [1]. В первую очередь можно подчеркнуть 2D ВИС — проекционные системы, видеомикроскопы, различные комплексы видеофиксации, а также 3D измерительные ВИС, на основе триангуляции в структурированном свете и видеограмметрические.

В соответствии с государственной поверочной схемой (ГПС) для средств измерений длины, поверка таких ВИС осуществляется путем сравнения с мерой длины, в качестве которой выступают штриховые меры, концевые меры, специализированные меры и рулетки [2, 3]. Как правило такие меры ограничены по диапазону измерения и обеспечивают измерение лишь по одной координате (1D мера).

Перспективным направлением развития таких эталонов является создание цифровых меры на базе дисплея монитора (2D мера) Высокая точность изготовления матриц мониторов и возможность вывода на них различной информации от компьютера позволяет использовать их в качестве гибкого инструмента для оценки различных параметров ВИС: разрешающей способности, частотно-контрастных характеристик, оценки геометрических искажений и пр. Причем такие измерения могут проводится не только в статическом, но и динамическом режиме. Однако для использования цифровых мониторов в качестве мер необходимо, чтобы расстояния между отдельными пикселями были откалиброваны.

В настоящей работе рассматривается вопрос создания цифровой меры для поверки (калибровки) ВИС на базе цифрового монитора, а также методика передачи единицы длины на такую меру с помощью эталонного интерферометра перемещений. Суть калибровки цифровых мер на основе монитора заключается в передаче единицы длины от интерферометра перемещения на пиксели монитора. Для этого может быть использована представленная на рис. 3 измерительная схема (рис. 1). Для этого на каретку вместе с уголковым отражателем 2 параллельно оси перемещения каретки устанавливается монитор 1. Перед монитором ставится видеоизмерительная система, состоящая из объектива 4, формирующего изображение на фотоприёмной матрице 5 видеокамеры.



1 – калибруемый монитор; 2 – угловой отражатель; 3 – транслятор; 4 – оптическая система; 5 – фотоприёмная матрица.

Рис. 1. Схема калибровки монитора:

Для дальнейшего описания методики в полученной схеме рассмотрим три системы координат (СК):

– Система координат изображения, выводимого на калибруемый монитор 1. Назовем её «СК монитора» и обозначим как  $aOb$ . Ось  $Oa$  лежит вдоль горизонтальной стороны монитора, а ось  $Ob$  вдоль вертикальной.

– Система координат транслятора 2. Назовем её «СК объекта» и обозначим как  $XOY$ . Ось  $OX$  направлена вдоль оси перемещения, а ось  $OY$ , в идеальном случае, лежит параллельно плоскости  $aOb$ .

– Система координат изображения, формируемого на фотоприёмной матрице объективом. Назовем её «СК камеры» и обозначим как  $xOy$ .

В СК монитора  $aOb$  определяется набор точек  $G_{i,j} = (i \cdot \Delta_m, j \cdot \Delta_m)$  разбивающий матрицу монитора на точечную сетку с известным в пикселях расстоянием  $\Delta_m$  между соседними элементами. Назовем  $G_{i,j}$  множеством контрольных точек. В процессе калибровки определяются расстояния  $\delta X_{i,j}$  между соседними контрольными точками  $G_{i,j}$  и  $G_{i+1,j}$  в СК объекта  $XOY$ .

Рассмотрим алгоритм вычисления расстояния  $\delta X_{i,j}$  для некоторых двух точек  $G_{i,j}$  и  $G_{i+1,j}$ :

1) На монитор последовательно выводятся изображения  $L_{i,j}(a, b)$  и  $L_{i+1,j}(a, b)$  распределение яркости в которых определяется выражением:

$$L_{i,j}(a, b) = H \cdot \exp[-(\alpha(a - i \cdot \Delta_m)^2 + \beta(b - j \cdot \Delta_m)^2)],$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  — постоянные коэффициенты;  $H$  — максимальная разрядность системы вывода изображения ( $H = 255$ ). Область определения данной функции:  $a = [1 \dots A]$  и  $b = [1 \dots B]$ , где  $A \times B$  — разрешение монитора.

2) Матрицей камеры фиксируются соответствующие изображения  $L'_{i,j_0}(x, y)$  и  $L'_{i+1,j_0}(x, y)$  (рис. 2а).

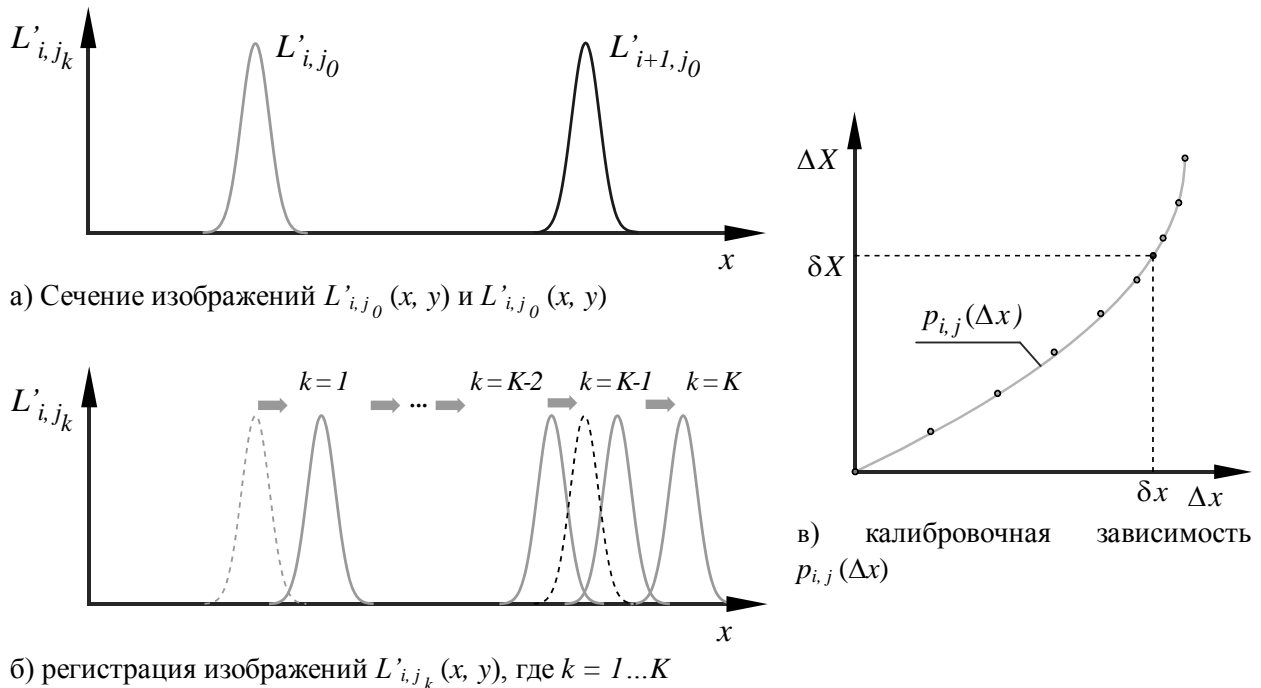


Рис. 2. Процесс построения калибровочной кривой.

3) С помощью корреляционного алгоритма [4] вычисляется смещение  $\delta x_{i,j}$  в СК камеры между изображениями  $L'_{i,j_0}(x, y)$  и  $L'_{i+1,j_0}(x, y)$ . Использование такого алгоритма позволяет вычислить расстояние с точностью до десятых долей пикселя (субпиксельное разрешение).

4) С помощью транслятора каретка с монитором и уголковым отражателем смещается вдоль оси  $OX$  на величину  $\Delta X$ , которая определяется с помощью интерферометра перемещения (на рис. 1 не указан). На монитор выводится изображение  $L_{i,j}(a, b)$  и с камеры получаем смещенное изображение  $L'_{i,j_1}(x, y)$ . Затем монитор еще раз смещается на величину  $\Delta X$  и операция повторяется. Так происходит  $K$  раз до тех пор, пока суммарное смещение не станет больше предполагаемого расстояния между контрольными точками. Таким образом для каждого  $k \cdot \Delta X$  получаем ряд изображений  $L'_{i,j_k}(x, y)$ , где  $k = 0 \dots K$  (рис. 2б).

Для каждого изображения  $L'_{i,j_k}(x, y)$  корреляционным алгоритмом также вычисляется смещение  $\Delta x_{i,j_k}$  в СК камеры относительно начального положения  $L'_{i,j_0}(x, y)$ .

Строится калибровочная кривая (рис. 2в): зависимость  $k \cdot \Delta X = f(\Delta x_{i,j_k})$ , которая определяет соответствие между СК камеры и СК объекта.

Построенная кривая аппроксимируется полиномом  $p_{i,j}(\Delta x)$  второго порядка. Полученная зависимость используется для определения расстояния между контрольными точками в СК объекта:

$$\delta X_{i,j} = p_{i,j}(\delta x_{i,j})$$

Особенность представленной методики калибровки заключается в достижении высокой точности за счет использования субпиксельного разрешения, а также снижения требований к геометрическим aberrациям оптической системы за счет аппроксимации полученных данных.

### Литература

1. Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений / URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry>
2. **Челпанов И. Б., Прямицын И. Б., Кочетков А. В.** Метрологическое обеспечение лазерных измерительных 3D-сканеров // Законодательная и прикладная метрология. — 2016. — №6 (145) — С. 26–31.
3. **Приказ №2840.** Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29.12.2018 г.
4. **Левин Г. Г., Илюшин Я. А., Минаев В. Л., Моисеев Н. Н.** Определение наноперемещений объекта по оптическому фазовому изображению // Измерительная техника. — 2010. — №7. — С. 38–42.