

УДК 621.391

## ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ СОВМЕЩЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Д.С. Чернышев, А.А. Роженцов

## IMAGE ALIGNMENT ACCURACY ESTIMATION IN AUGMENTED REALITY SYSTEM

D.S. Chernyshev, A.A. Rozhentsov

**Аннотация.** Описывается подход к оценке точности совмещения изображений в системе дополненной реальности. В качестве критерия используется величина среднего квадратичного расстояния между соответствующими точками плоского калибровочного шаблона и точками его виртуальной модели, отображенными в ту же систему координат.

**Ключевые слова:** дополненная реальность, оценка точности.

**Abstract.** The article describes the approach to the assessment of the accuracy of images alignment in an augmented reality system using the root mean square of the distance between corresponding points of a planar calibration pattern and points of its virtual model, mapped to the same coordinate system.

**Keywords:** augmented reality, accuracy estimation.

В связи с развитием методов минимально инвазивной хирургии возникает необходимость совершенствования систем информационной поддержки врача, предоставляющих в ходе проведения операции информацию о взаимном расположении хирургического инструмента и интересующих органов пациента.

Использование дополненной реальности для визуализации анатомических особенностей пациента позволяет предоставить хирургу информацию в интуитивно понятной форме, однако для обеспечения требуемого качества визуализации необходимо поддерживать высокую точность совмещения реального и виртуального изображений [1]. В данной работе производится оценка точности совмещения изображений в разработанном прототипе системы информационной поддержки хирурга при лапароскопических вмешательствах [2].

Основным рабочим инструментом системы является цифровая камера, закрепленная на указателе механического дигитайзера. И камера, и дигитайзер подключены к персональному компьютеру с необходимым программным обеспечением, отвечающим за загрузку и регистрацию 3D моделей и формирование итогового изображения.

Типовой сценарий использования системы состоит из следующих этапов [3]:

1. По данным предоперационной томографии происходит построение полигональной 3D модели представляющих интерес органов пациента.

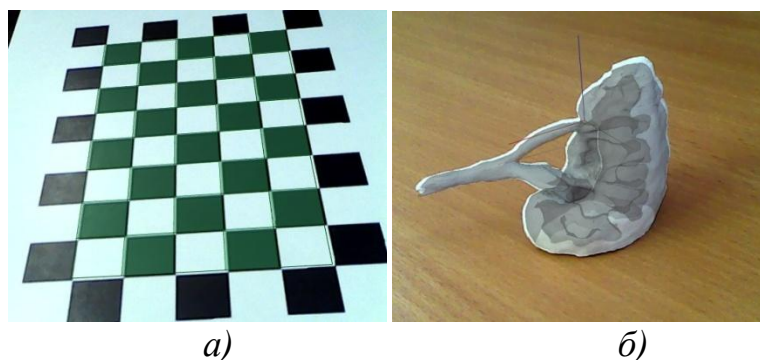
2. Производится калибровка камеры лапароскопа с помощью оптического шаблона с целью определения его оптических характеристик и смещения относительно указателя дигитайзера.

3. Производится регистрация пациента в системе координат (СК) дигитайзера. После этого программное обеспечение обладает всей необходимой информацией для определения положения камеры в системе координат пациента, что используется при формировании итогового изображения.

На каждом из приведенных этапов возникают ошибки, влияющие на итоговую точность совмещения виртуального и реального изображений. К ним относятся ошибки, связанные с формированием 3D модели, ошибки определения внутренних и внешних параметров камеры, ошибки регистрации, ошибки, связанные с точностью дигитайзера и разрешением камеры.

Результатом совместного влияния данных ошибок является расхождение между изображением реального объекта и изображением виртуальной модели. На рисунке представлен результат совмещения изображения калибровочного шаблона в виде шахматной доски с его виртуальной моделью.

При идеальном совмещении углы квадратов шаблона и его модели на изображении должны совпадать, однако из-за перечисленных ошибок возникает некоторое расхождение между соответствующими изображениями.



*Совмещение изображений в системе дополненной реальности:  
а) изображения калибровочного шаблона и его виртуальной модели;  
б) совмещенные изображения виртуальной и физической моделей почки*

В качестве меры точности совмещения выступает среднеквадратическое расстояние между точками шаблона и спроецированными в ту же систему координат точками виртуальной модели. В качестве системы координат, в которой производятся вычисления, выбрана система, связанная с камерой. Тогда координаты точек шаблона могут быть определены как:

$$\mathbf{V}_c = \mathbf{M}_{pc} \times \mathbf{V}_p, \quad (1)$$

где  $\mathbf{v}_p$  – координаты точки шаблона в собственной системе координат,

$\mathbf{v}_c$  – координаты той же точки в СК камеры,

$\mathbf{M}_{pc}$  – матрица перехода из СК шаблона в СК камеры, найденная методом наименьших квадратов.

В то же время координаты точек виртуальной модели могут быть найдены следующим образом:

$$\mathbf{V}_m = \mathbf{M}_{tc} \times \mathbf{M}_{dt} \times \mathbf{M}_{pd} \times \mathbf{V}_p, \quad (2)$$

где  $\mathbf{V}_m$  – координаты точки модели в системе координат камеры,

$\mathbf{M}_{pd}$  – матрица перехода из СК шаблона в СК дигитайзера, определяемая в процессе регистрации,

$M_{DT}$  – матрица перехода из СК дигитайзера в СК его указателя, определяемая самим дигитайзером,

$M_{TC}$  – матрица перехода из СК указателя в СК камеры, найденная в процессе калибровки камеры.

Тогда, используя координаты известных точек шаблона  $v_{pi}$  и координаты точек модели  $v_{Mi}$ , можно оценить среднеквадратичное расстояние между соответствующими точками:

$$RMSD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \|v_{pi} - v_{Mi}\|^2}, \quad (3)$$

где  $N$  – количество известных пар точек шаблона и модели.

В процессе эксперимента использовался шаблон  $7 \times 10$  квадратов, позволяющий идентифицировать на изображении 54 особых точки. Результаты оценки показывают разброс значений RMSD от 0,65 до 2,5 мм в зависимости от расстояния до калибровочного шаблона и угла между плоскостью шаблона и оптической осью камеры. Данный результат можно объяснить тем, что при увеличении расстояния до шаблона расхождения, вносимые неточностью определения матрицы перехода «камера–указатель дигитайзера», становятся более явными, а также тем, что при острых углах между плоскостью шаблона и оптической осью камеры сильнее проявляется дискретность изображения, что приводит к неточности определения матрицы перехода «камера – шаблон».

#### Библиографический список

1. Azuma R. A Survey of Augmented Reality Presence // Teleoperators and Virtual Environments, pp. 355-385, August 1997. URL: <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf> (дата обращения 10.10.2016)

2. Роженцов А.А., Дубровин В.Н., Чернышев Д.С., Егошин А.В. Разработка методики комплексирования изображений в системе интраоперационной навигации // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2015. №1(25). С. 22-40.

3. David Simon, R.V. O'Toole, Mike Blackwell, F. Morgan, Anthony M. Digioia, Takeo Kanade Accuracy Validation In Image-Guided Orthopaedic Surgery // Proceedings of the Second International Symposium on Medical Robotics and Computer Assisted Surgery. 1995. С. 185–192.

**Чернышев Даниил Сергеевич**  
Поволжский государственный  
технологический университет,  
г. Йошкар-Ола, Россия  
E-mail: chernyshev\_ds@mail.ru

**Chernyshev D.S.**  
Volga State University of  
Technology, Yoshkar-Ola,  
Russia

**Роженцов Алексей Аркадьевич**  
Поволжский государственный  
технологический университет,  
г. Йошкар-Ола, Россия  
E-mail: krtmbs@volgatech.net

**Rozhentsov A.A.**  
Volga State University of  
Technology, Yoshkar-Ola,  
Russia