

## Исследование точности оценки углов поворота лица по монокулярному цифровому изображению

Сергей Каратеев, Владимир Князь, Юрий Визильтер, Ирина Бекетова, Сергей Желтов  
Государственный научный центр РФ  
Государственный научно – исследовательский институт авиационных систем (ГосНИИАС)

### АННОТАЦИЯ

Исследуется точность оценки углов поворота лица по монокулярному цифровому изображению. Разработан подход к оценке точности, основанный на сравнении синтезированных изображений лица с реальными трехмерными моделями. Создано программное обеспечение для моделирования и измерений, собран специализированный комплекс для бесконтактных измерений, и с использованием данного комплекса получены трехмерные модели и фотореалистические текстуры необходимого числа тестовых лиц. Осуществлены первичные измерения точности оцениваемых параметров с использованием предложенной методики.

**Keywords:** *Biometrics, face 3D reconstruction, facial imagery modeling, facial imagery analysis.*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Задача определения ориентации объекта и в частности лица на монокулярном цифровом изображении часто возникает при анализе цифровых изображений. В данном случае необходимость определения ориентации лица связана с задачей формирования фронтального изображения лица для биометрических персональных документов.

Как следует из требований ГОСТ ИСО/МЭК 19794-5-2006, при получении фотографии лица на биометрические документы допустимый угол поворота изображения лица (головы) вокруг любой из осей координатной системы не должен превышать 5 градусов.

Вообще говоря, построение связанной трёхмерной системы координат на основании двухмерного изображения лица является некорректной обратной задачей. Поэтому в системах подготовки и контроля цифровых фотографий для биометрических документов для определения углов поворота относительно пространственных осей используются косвенные методы оценки углов поворота головы по изменению пропорций лица.

### 2. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

Для определения истинных углов поворота изображения необходимо ввести две системы координат – связанную с головой и опорную. Связанная с головой система координат  $X_s Y_s Z_s$  определяется двумя ортогональными плоскостями: франкфуртской (или глазнично-ушной) горизонтально–плоскостью  $X_s Z_s$  проходящей через верхние края отверстий наружного слухового прохода и нижнюю точку нижнего края левой орбиты и плоскостью  $Y_s Z_s$  –перпендикулярной плоскости  $X_s Z_s$  и проходящей через ось симметрии лица (центр переносицы, центр губ). Ось  $Z_s$  совпадает с линией пересечения плоскостей и направлена от поверхности лица

Опорная система координат  $XYZ$  определяет виртуальную камеру, формирующую 2D изображение и представляется следующим образом ось  $Y$  – параллельна вертикальной оси плоскости изображения, ось  $X$  – параллельна горизонтальной оси плоскости изображения, ось  $Z$  дополняет до правой системы координат и направлена от модели лица, центр расположен в середине 2D изображения. Изображения считается фронтальным, когда оси опорной и связанной систем координат коллинеарны.

### 3. МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для оценки точности определения углов поворота изображения лица предлагается использовать трёхмерные модели лиц, получаемые путем трехмерного сканирования.

Первым шагом в оценке точности является получение трёхмерной модели лица человека. Для определения ошибок определения угловых координат модель поворачивается вокруг осей опорной системы координат на заданные углы, и строится ее проекция на фокальную плоскость виртуальной камеры, ориентированной относительно опорной системы координат. Эта проекция считается изображением повернутого лица, по которому осуществляются оценки углов поворотов изображения с помощью косвенных методов измерения, реализованных в программе оценки соответствия изображения лица требованиям ГОСТ.

### 4. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Для получения трёхмерной модели лица используется специализированный комплекс бесконтактных измерений, построенный на фотограмметрических принципах, позволяющих рассчитать координаты заданной точки объекта по двум разноракурсным изображениям объекта, наблюдаемых стереосистемой видеокамер.

Система бесконтактных измерений включает:

- Две камеры для технического зрения, предназначенные для захвата черно-белых изображений человека в структурированном свете и расчета трехмерных координат поверхности лица.
- Цветную фотокамеру высокого разрешения для получения цветного изображения и фотореалистичного текстурирования трехмерной модели
- Портативный DLP проектор для создания ПК-управляемого подсвета, обеспечивающего автоматизацию решения задачи стереоотожествления
- Персональный компьютер

Предварительным этапом работы с фотограмметрическим комплексом бесконтактных измерений является калибровка

[1,2], то есть оценка параметров модели камер, учитывающих нелинейные искажения, возникающие при формировании изображений камерой. Калибровка системы позволяет обеспечить высокую точность измерений трехмерных координат объекта.

Внешнее ориентирование системы выполняется для оценки положения и ориентации камер в системе координат, задаваемой специальным тестовым объектом. В результате процедуры ориентирования, выполняемой по снимкам тестового сюжета, определяются координаты и углы поворота камер в заданной системе координат. В дальнейшем координаты точек поверхности объекта рассчитываются в системе координат, заданной ориентированием системы.

Для расчета трехмерных координат поверхности объекта и построения его трехмерной модели необходимо для каждой видимой точки объекта (A) найти ее координаты на левом ( $a_l$ ) и правом ( $a_r$ ) изображениях (решить задачу стереоотождествления точек левого и правого изображений). Тогда, с использованием результатов ориентирования стереосистемы (положение камер), рассчитываются трехмерные координаты точки A.

Для автоматизированного решения задачи стереоотождествления соответственных точек изображений с левой и правой камеры в системе применяется оригинальный кодированный подсвет объекта, минимизирующий количество кадров, используемых для расчета трехмерных координат поверхности объекта, при сохранении высокой плотности измерений.

Основные технические характеристики системы:

- Время сканирования – ~0.5 сек
- Время расчета трехмерной модели – 5 сек
- Плотность измерения координат – 10-25 точек на мм<sup>2</sup>
- Точность измерения пространственных координат – 0,5 мм

Система выполняет следующие функции:

- Сканирование и получение необходимого количества снимков лица для последующего использования при построении трехмерной модели лица
- Построение высокоточной трехмерной модели лица
- Текстурирование полученной трехмерной модели

Для расчета трехмерных координат поверхности используются последовательности снимков с черно-белых камер, а в качестве текстуры служит цветной снимок высокого разрешения, получаемый с цифрового фотоаппарата. Текстурирование трехмерной модели выполняется автоматически на основе данных ориентирования цифрового фотоаппарата.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная работа находится на завершающей стадии исследований. К настоящему моменту разработан подход к моделированию и измерениям, создано программное обеспечение для моделирования и измерений, собран специализированный комплекс для бесконтактных измерений, и с использованием данного комплекса получены трехмерные модели и фотореалистические текстуры необходимого числа тестовых лиц. Осуществлены первичные измерения точности оцениваемых параметров с

использованием предложенной методики. Предварительные оценки точности составляют порядка 1° для углов поворота относительно оси Z и Y, и порядка 5° относительно оси X. Худшая оценка точности при определении угла относительно оси X связана с высокой вариабельностью вертикальных пропорций лица у различных людей.

Финальная статистическая обработка полученных результатов позволит уточнить эти предварительные результаты, а также выбрать наилучшие методы оценки углов поворота лица на изображении и на основании оценки точности этих методов принять решение о пригодности их для использования в системе формирования цифровых фотографий для биометрических документов.

## 6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Schenk T.F. Digital Photogrammetry, TerraScience, 1999, ISBN 0967765307.
- [2] Luhmann T., Robson S., Kyle S., Harley I., Close Range Photogrammetry, Principles, Methods and Applications. Whittles, 2006, ISBN 1870325508, 510 pp.

### Об авторах

Каратеев Сергей Львович, начальник сектора лаборатории компьютерного машинного зрения ГосНИИАС. e mail goga@gosniias.ru

Князь Владимир Александрович начальник лаборатории цифровых видеометрических методов, трехмерных измерений и виртуальной реальности ГосНИИАС, e mail knyaz@gosniias.ru.

Визильтер Юрий Валентинович, кандидат технических наук, начальник лаборатории компьютерного машинного зрения ГосНИИАС e mail viz@gosniias.ru

Бекетова Ирина Валентиновна ведущий инженер лаборатории компьютерного машинного зрения ГосНИИАС. e mail irus@gosniias.ru.

Желтов Сергей Юрьевич, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Генеральный директор ФГУП ГосНИИ Авиационных систем (ГосНИИАС)

## Exploration of Precision of Face Orientation Estimation Based on Monocular Digital Imagery

### ABSTRACT

The precision of face orientation estimation based on monocular digital imagery is addressed. The approach for precision estimation is developed based on comparison of synthesized facial 2D images and scanned face 3D model. The software for modeling and measurement is developed. The special system for non-contact measurements is created. Required set of 3D real face models and colored facial textures are obtained using this system. Some preliminary precision estimation results are obtained.

**Keywords:** *Biometrics, face 3D reconstruction, facial imagery modeling, facial imagery analysis.*