

**П. С. Захаров** – магистрант кафедры компьютерного проектирования аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

**Н. Г. Шибаловский** – начальник лаборатории НИИ ВС «Спектр», научный руководитель

**В. Я. Мамаев** (канд. техн. наук, доц.) — научный консультант

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЗОРОМ В КАБИНЕ ВИРТУАЛЬНОГО САМОЛЕТА

Современные авиационные тренажеры требуют дорогостоящего оборудования для передачи пользователю возможности одновременно наблюдать приборную панель и окружающее пространство виртуального самолета. Предлагается использовать обыкновенный монитор компьютера и специальную систему, которая даст возможность пользователю иметь интуитивно понятный интерфейс, управления обзором в кабине виртуального самолета, что сделает такую систему более доступной для малобюджетных тренажеров, эмуляторов системы целеуказания и систем регистрации распределения внимания на приборах летательного аппарата. В данной работе выполнено построение данной системы и проведено исследование ее быстродействия и выходной погрешности системы.

Для реализации данной системы подойдет оптико-телевизионная система позиционирования, состоящая из цифровой видеокамеры, регистрирующей перемещение трех световых реперов с известным взаимным расположением, закрепленных на специальном держателе, на голове пользователя системы.

Цифровая видеокамера регистрирует перемещение трех световых реперов и передает полученные данные в компьютер для специальной программы, которая выполняет функцию фильтрации получаемого кадра изображения, его последующую интерполяцию, определение двумерных координат световых реперов и на основе их двумерных координат вычисляет трехмерное положение реперов в пространстве относительно цифровой видеокамеры. Трехмерные координаты позволяют определить пространственное положение головы пользователя относительно монитора, включая углы поворота головы пользователя системы. Полученные координаты и углы передаются программе авиационного тренажера (АТ), которая формирует на экране монитора изображение нужной части кабины виртуального самолета в зависимости от расположения головы пользователя относительно монитора АТ.

Фильтрация получаемого изображения необходима для компенсации помех цифровой видеокамеры. Для этого используется простой алгоритм двумерного сглаживания Гаусса[1].

$$\text{Матрица Гаусса } [M] = \begin{bmatrix} 0.0751 & 0.1238 & 0.0751 \\ 0.1238 & 0.2042 & 0.1238 \\ 0.0751 & 0.1238 & 0.0751 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Минусом фильтрации помех на изображении является сглаживание максимума светового репера, что приводит к снижению точности определения координат центра светового репера, но позволяет избежать серьезных ошибок определения двумерных координат реперов из-за помех видеоматриц.

Метод «Центра массы» [2] позволяет определить субпиксельные координаты центра светового репера. Данный метод существенно позволяет повысить точность системы в целом.

$$X = \frac{\sum_i \sum_j U_{ij} \cdot i}{\sum_i \sum_j U_{ij}}, Y = \frac{\sum_i \sum_j U_{ij} \cdot j}{\sum_i \sum_j U_{ij}}, \quad (2)$$

где  $U_{ij}$  — яркость ячейки  $ij$  координат изображения

Несколько более точные измерения координат обеспечивают методы аппроксимации изображений световых реперов аналитическими функциями. Наиболее подходящей аналитической функцией описывающей распределения яркости изображения светового репера является распределение Гаусса [2].

$$G(r, a, b) = a \cdot \exp\left(-\frac{r^2}{2 \cdot b^2}\right), \quad (3)$$

где  $r$  – расстояние от центра изображения,  $a, b$  – параметры, определяющие вид функции.

Для определения трехмерного пространственного положения световых реперов относительно видеокамеры используется алгоритм “РЗР”. Иллюстрация алгоритма приведена на рисунке 1.

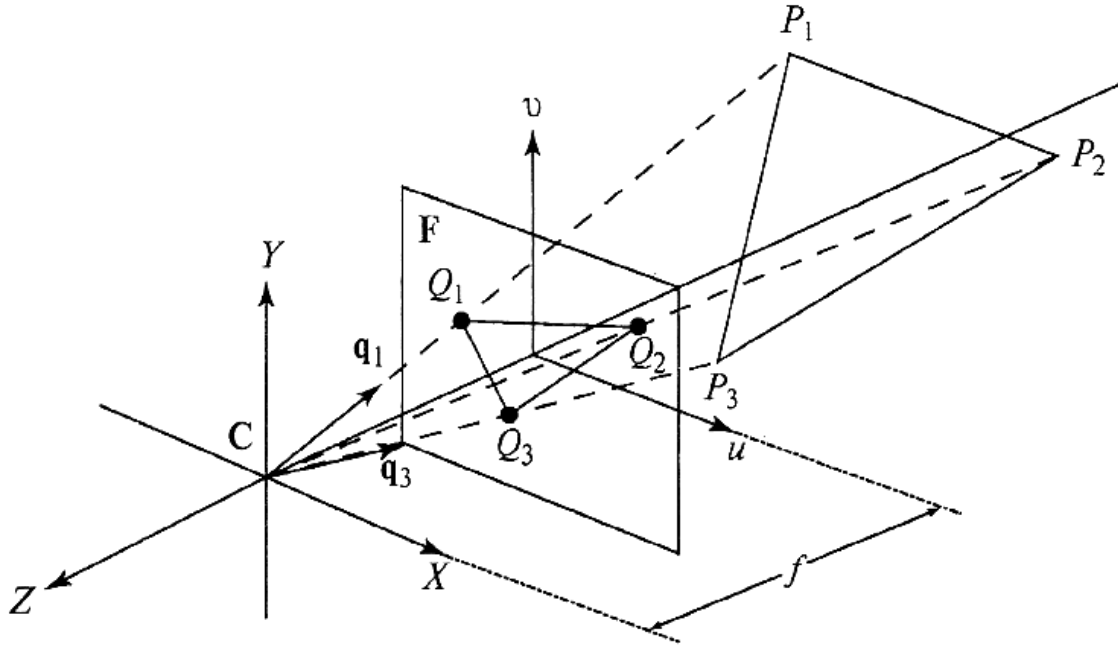


Рис. 1. Иллюстрация принципа работы алгоритма РЗР

Исходя из анализа рисунка, можно составить систему уравнений [3]:

$$\begin{aligned} d_{mn}^2 &= \|a_m q_m - a_n q_n\|^2 = a_m^2 - 2a_m a_n (q_m \circ q_n) + a_n^2, \\ \begin{cases} a_1 - 2a_1 a_2 (q_1 \circ q_2) + a_2^2 - d_{12}^2 = 0 \\ a_2 - 2a_2 a_3 (q_2 \circ q_3) + a_3^2 - d_{23}^2 = 0 \\ a_1 - 2a_1 a_3 (q_1 \circ q_3) + a_3^2 - d_{13}^2 = 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

Для данной системы уравнений требуется знать расстояния между световыми реперами  $d_{1,2}$ ,  $d_{2,3}$  и  $d_{1,3}$  (которые заранее известны с заданной точностью). Для решения данной системы уравнений может быть использован метод оптимизации Гаусса или метод Гаусса–Зейделя[4].

Используя предыдущее положение световых реперов ( $l_1, l_2, l_3$ ) и вновь полученное ( $r_1, r_2, r_3$ ) можно воспользоваться методом Хорна[5] для определения пространственного смещения и поворота головы пользователя относительно цифровой видеокамеры  $[R \mid t]$ . Иллюстрация принципа работы алгоритма Хорна приведена на рисунке 2.

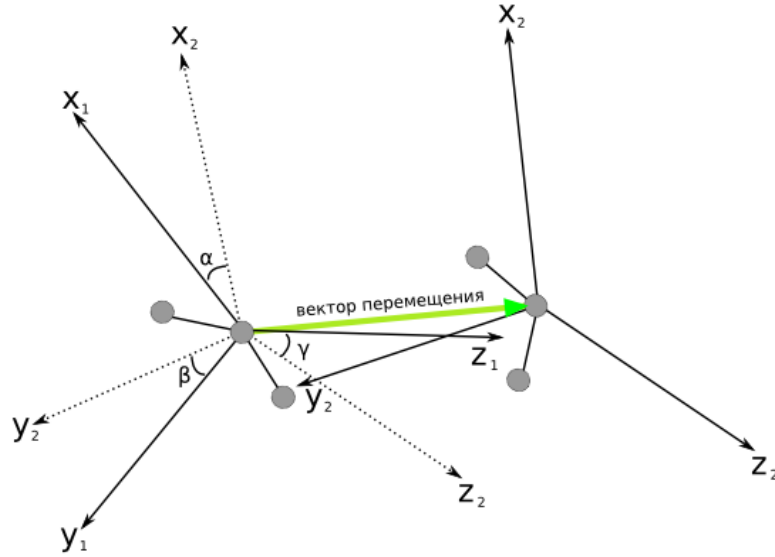


Рис. 2. Иллюстрация принципа работы алгоритма Хорна

Реализации алгоритма Хорна:

$$\begin{aligned}
 \hat{x}_1 &= \frac{l_2 - l_1}{|l_2 - l_1|}, & \hat{x}_2 &= \frac{r_2 - r_1}{|r_2 - r_1|}, \\
 \hat{y}_1 &= \frac{(l_3 - l_1) - ((l_3 - l_1) \circ \hat{x}_1) \hat{x}_1}{|(l_3 - l_1) - ((l_3 - l_1) \circ \hat{x}_1) \hat{x}_1|}, & \hat{y}_2 &= \frac{(r_3 - r_1) - ((r_3 - r_1) \circ \hat{x}_2) \hat{x}_2}{|(r_3 - r_1) - ((r_3 - r_1) \circ \hat{x}_2) \hat{x}_2|}, \\
 \hat{z}_1 &= \hat{x}_1 \times \hat{y}_1, & \hat{z}_2 &= \hat{x}_2 \times \hat{y}_2, \\
 M_1 &= [\hat{x}_1 \ \hat{y}_1 \ \hat{z}_1], & M_2 &= [\hat{x}_2 \ \hat{y}_2 \ \hat{z}_2], \\
 & & R &= M_2 M_1^T,
 \end{aligned} \tag{5}$$

Смещение найдем вычитанием центроидов:

$$\begin{aligned}
 t &= C_l - C_r, \\
 C_l &= \frac{1}{3}(l_1 + l_2 + l_3), \\
 C_r &= \frac{1}{3}(r_1 + r_2 + r_3),
 \end{aligned} \tag{6}$$

Воспользовавшись методом Радригеса [6], определим углы вращения:

$$R = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \omega - \sin \varphi \cos \theta \sin \omega & -\cos \varphi \sin \omega - \sin \varphi \cos \theta \cos \omega & \sin \varphi \sin \theta \\ \sin \varphi \cos \omega + \cos \varphi \sin \omega \cos \theta & -\sin \varphi \sin \omega + \cos \varphi \cos \omega \cos \theta & -\cos \varphi \sin \theta \\ \sin \varphi \sin \theta & \cos \varphi \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}, \tag{7}$$

На основании данных алгоритмов была построена математическая модель системы. Было проведено исследование ее погрешности и быстродействия, от изменения алгоритмов и параметров работы системы.

Проведены следующие исследования:

- произведен анализ влияния разных типов фильтрации изображения на выходную погрешность системы и ее быстродействие (удаление малых компонент, усредняющий фильтр, фильтр Гаусса);
- проанализировано влияние разных видов алгоритмов интерполяции и влияния разрешения видеоматрицы на выходную погрешность системы и ее быстродействие;
- исследованы алгоритмы решения системы алгебраических уравнений и влияния погрешно-

стей коэффициентов на выходную погрешность системы (метод Гаусса, метод Гаусса–Зейделя);

– проведен анализ алгоритма определения пространственного поворота на выходную погрешность системы и ее быстродействие

Исходя из проведенных исследований, были выбраны алгоритмы и параметры системы, которые обеспечивают минимальную погрешность системы.

В результате проделанной работы получена система, позволяющая пользователю получить на экране монитора возможность интуитивно понятного интерфейса управления направлением взгляда в кабине виртуального самолета авиационного тренажера, а также имеется возможность создать эмуляцию системы целеуказания и построить систему регистрации распределения внимания на приборах летательного аппарата.

#### **Библиографический список**

1. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. / Бином, 2006 г. - 238 с.
2. Гусева И.С. Небесные и земные координаты. / СПбГУ 2011 г. - 222 с.
3. Дэвид Форсайт, Жан Понс Компьютерное зрение / Москва 2004 г. - 561 с.
4. Д. Мак-Кракен У. Дорн Численные методы и программирования на Фортране / МИР 1969 г. - 290 с.
5. Horn B.K.P. Robot Vision. – Cambridge; MA: / MIT Press 1989 г. - 254 с.
6. Johan E. Mebius, Derivation of the Euler-Rodrigues formula for three-dimensional rotations, arXiv General Mathematics / 2007. - 128 с.
7. Сиргиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов / Питер, 2002 г.
8. А. А. Лукьяница, А. Г. Шишкин Цифровая обработка видеоизображений / Ай-Эс-Эс Пресс 2009 г.
9. Виктор Федосеев Оптико-электронные приборы ориентации и навигации космических аппаратов. / Москва 2007 г.