

УДК 004.5

С.И. Вяткин<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
С.А. Романюк<sup>2</sup>, соискатель,  
М. П. Поддубецкая<sup>2</sup>, студент<sup>1</sup> Институт автоматизации и электрометрии СО РАН, Россия  
[sivser@mail.ru](mailto:sivser@mail.ru)<sup>2</sup> Винницкий национальный технический университет, г. Винница, Украина  
[ran12345@mail.ru](mailto:ran12345@mail.ru), [mary\\_303@mail.ru](mailto:mary_303@mail.ru)

## Трехмерная реконструкция человеческого лица по данным стереопары с применением аналитических функций возмущения

В данной работе представлен метод реконструкции человеческого лица по данным стереопары с применением аналитических функций возмущения. Приведены теоретические сведения и практические аспекты алгоритма корреляции.

**Ключевые слова:** карта глубины, алгоритм корреляции, квадрата, функция возмущения, стереопары.

### Введение

Ранее распознавание лиц основывалось только на двухмерных изображениях: их получении и сравнении с имеющимся набором. Для точности такого сравнения необходимо получить снимок лица смотрящего прямо в камеру, с минимумом эмоций и небольшой игрой света. Это, конечно, проблематично. В большинстве случаев небольшие изменения освещенности и положения делали работу системы неэффективной – картинки не удавалось сопоставить ни с одной из базы данных – частота ошибок оказывалась слишком высокой.

3-D распознавание лишено ряда недостатков. Практически невозможно подделать муляж. Различаются близнецы. Малая зависимость от поворота головы (диапазон отклонения значительно увеличен). При правильном выборе светового диапазона малая зависимость от внешней освещенности, от волосяного покрова. Уменьшенная зависимость от опухлостей лица (т.к. на лице есть т.н. антропоморфные точки, почти не подверженные опуханию). Качество распознавания удачно соперничает с большинством прочих методов. Недостатки метода – высокие вычислительно-мощностные требования.

В работе [1] описано распознавание лиц с применением функциональных масок на основе аналитических функций возмущения. Одной из важных задач для идентификации лиц является реконструкция поверхности, которая рассматривается в данной работе.

### Описание метода

По стереопаре осуществляется 3D-реконструкция лица, строится карта глубины. Применяя карту глубины, создаем 3D-модель лица. Калиброванная стереопарата дает две проекции точки зрения матриц  $M_i$  (рис. 1):

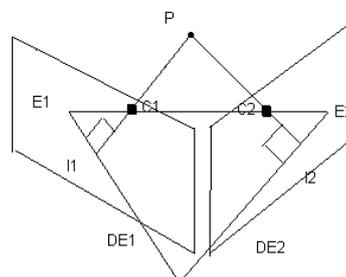


Рисунок 1 – Стереопара

Для калиброванной стереопары имеем две проективные матрицы  $M_i$ :

$$\begin{pmatrix} u_i s_i \\ v_i s_i \\ s_i \end{pmatrix} = M_i \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

где  $X, Y, Z$  являются 3D-координатами точки, и  $u_i, v_i$  являются ее проекциями на плоскости изображения  $i$ .

Из калиброванной стереопары лица вычисляется карта глубины с применением алгоритма корреляции.

Существуют два основных вида алгоритмов пассивного стерео:

1. На основе особенностей (англ. «Feature-based»): выделяют интересующие особенности (ребра, сегменты, контуры) из изображений и подбирают их для двух и более точек наблюдения.

Достоинства: метод быстрый – используется небольшое число пикселей изображения.

Недостатки: не может гарантироваться удачный поиск выбранных примитивов.

2. На основе площади (англ. «Area-based») [2 - 6]: корреляция уровней интенсивности изображения. Результирующая карта глубины может быть интерполирована.

**Алгоритм корреляции**

Оценка корреляции производится за формулой:

$$S = \max 0, 1 - c \tag{2}$$

$$S = \frac{\sum_{i,j} (I1(x+i, y+j) - \bar{I1}) - (I2(x+dx+i, y+dy+j) - \bar{I2})^2}{\sqrt{(\sum_{i,j} (I1(x+i, y+j) - \bar{I1})^2)(\sum_{i,j} (I2(x+dx+i, y+dy+j) - \bar{I2})^2)}} \tag{3}$$

В формуле (3) I1, I2 – интенсивности левого и правого изображений (стерео), dx – их средние значения корреляции, dy – смещения вдоль эпиполярной линии.

После вычисления карты глубины (рис. 2) создается облако точек в пространстве объекта, которое конвертируется в функциональное описание. Сначала вычисляются нормали по трем соседним точкам.

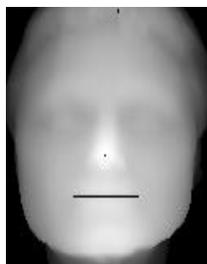


Рисунок 2 – Карта глубины

Объемные данные используются как база для создания функциональной поверхности посредством строгого математического вычисления без итераций.

Задаются функции отклонения (функции второго порядка в неявном виде) от базовой квадрики [7, 8].

Базовая квадрика

$$F(x, y, z) = A_{11}x^2 + A_{22}y^2 + A_{33}z^2 + A_{12}xy + A_{13}xz + A_{23}yz + A_{14}x + A_{24}y + A_{34}z + A_{44} \geq 0, \tag{4}$$

Функции возмущения

$$F'(x, y, z) = F(x, y, z) + \sum_{i=1}^N R_i(x, y, z), \tag{5}$$

где R(x,y,z) – возмущение. Функция возмущения R(x,y,z) находится следующим образом:

$$R_i(x, y, z) = \begin{cases} Q_i^3(x, y, z), & \text{if } Q_i(x, y, z) \geq 0 \\ 0, & \text{if } Q_i(x, y, z) < 0 \end{cases}, \tag{6}$$

где Q(x,y,z) – возмущающая квадрика.

Чтобы отличить базовую квадрату от функций возмущения, коэффициенты ее уравнения находим заранее. Для этого необходимо квадрату вписать в исходную модель, точнее найти коэффициенты базовой квадрати по девяти габаритным точкам (вычисляются из карты глубины). Коэффициенты уравнений функций возмущения в дальнейшем будут обозначаться буквами А, В, С, D, Е, F, G, Н, I, К, а коэффициенты уравнений базовых квадратов – буквой q. При следующем задании квадрати:

$$Q = \begin{pmatrix} q_{xx} & \frac{q_{xy}}{2} & \frac{q_{xz}}{2} & \frac{q_x}{2} \\ \frac{q_{xy}}{2} & q_{yy} & \frac{q_{yz}}{2} & \frac{q_y}{2} \\ \frac{q_{xz}}{2} & \frac{q_{yz}}{2} & q_{zz} & \frac{q_z}{2} \\ \frac{q_x}{2} & \frac{q_y}{2} & \frac{q_z}{2} & q \end{pmatrix} \tag{7}$$

значение функции заданной (7) в произвольной точке P[x, y, z] будет:

$$Q(P[x, y, z]) = q_{xx}x^2 + q_{yy}y^2 + q_{zz}z^2 + q_{xy}xy + q_{xz}xz + q_{yz}yz + q_x x + q_y y + q_z z + q \tag{8}$$

Так как значение Q на поверхности равно нулю, то для нахождения коэффициентов квадрати по девяти P1[x1, y1, z1] ÷ P9[x9, y9, z9] точкам получаем систему линейных уравнений:

$$\left\{ \begin{matrix} Q(P_1) = 0 \\ Q(P_2) = 0 \\ \dots \\ Q(P_i) = 0 \\ \dots \\ Q(P_9) = 0 \end{matrix} \right. \tag{9}$$

Подставляя (8), получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} q_{xx}x_1^2 + q_{yy}y_1^2 + q_{zz}z_1^2 + q_{xy}x_1y_1 + q_{xz}x_1z_1 + q_{yz}y_1z_1 + q_x x_1 + q_y y_1 + q_z z_1 + q = 0 \\ q_{xx}x_2^2 + q_{yy}y_2^2 + q_{zz}z_2^2 + q_{xy}x_2y_2 + q_{xz}x_2z_2 + q_{yz}y_2z_2 + q_x x_2 + q_y y_2 + q_z z_2 + q = 0 \\ \dots \\ q_{xx}x_i^2 + q_{yy}y_i^2 + q_{zz}z_i^2 + q_{xy}x_iy_i + q_{xz}x_iz_i + q_{yz}y_iz_i + q_x x_i + q_y y_i + q_z z_i + q = 0 \\ \dots \\ q_{xx}x_9^2 + q_{yy}y_9^2 + q_{zz}z_9^2 + q_{xy}x_9y_9 + q_{xz}x_9z_9 + q_{yz}y_9z_9 + q_x x_9 + q_y y_9 + q_z z_9 + q = 0 \end{array} \right. \quad (10)$$

Решением системы уравнений (11) со свободным членом q (положим его равным -K) для заданных  $P_1[x_1, y_1, z_1] \div P_9[x_9, y_9, z_9]$  будут девять искомых коэффициентов:  $q_{xx}, q_{yy}, q_{zz}, q_{xy}, q_{xz}, q_{yz}, q_x, q_y, q_z$ .

$$\begin{bmatrix} x_1^2 & y_1^2 & z_1^2 & x_1y_1 & x_1z_1 & y_1z_1 & x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2^2 & y_2^2 & z_2^2 & x_2y_2 & x_2z_2 & y_2z_2 & x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3^2 & y_3^2 & z_3^2 & x_3y_3 & x_3z_3 & y_3z_3 & x_3 & y_3 & z_3 \\ x_4^2 & y_4^2 & z_4^2 & x_4y_4 & x_4z_4 & y_4z_4 & x_4 & y_4 & z_4 \\ x_5^2 & y_5^2 & z_5^2 & x_5y_5 & x_5z_5 & y_5z_5 & x_5 & y_5 & z_5 \\ x_6^2 & y_6^2 & z_6^2 & x_6y_6 & x_6z_6 & y_6z_6 & x_6 & y_6 & z_6 \\ x_7^2 & y_7^2 & z_7^2 & x_7y_7 & x_7z_7 & y_7z_7 & x_7 & y_7 & z_7 \\ x_8^2 & y_8^2 & z_8^2 & x_8y_8 & x_8z_8 & y_8z_8 & x_8 & y_8 & z_8 \\ x_9^2 & y_9^2 & z_9^2 & x_9y_9 & x_9z_9 & y_9z_9 & x_9 & y_9 & z_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_{xx} \\ q_{yy} \\ q_{zz} \\ q_{xy} \\ q_{xz} \\ q_{yz} \\ q_x \\ q_y \\ q_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K \\ K \end{bmatrix} \quad (11)$$

Далее отмечаются все ветви и листья дерева, где имело место пересечение модели с подкубами разных уровней восьмеричного дерева деления пространства объекта. Это просто сделать, поскольку известны все пересеченные листья дерева.

Преобразуемая модель задается в кубе с центром (0, 0, 0) и координатами от -1 до 1 по x, y, z, в системе координат объекта.

По заданным точкам и нормальям (12), находим функции, описывающие данный объект.

$$\begin{aligned} N_x &= G' / \sqrt{G'^2 + H'^2 + I'^2} \\ N_y &= H' / \sqrt{G'^2 + H'^2 + I'^2} \\ N_z &= I' / \sqrt{G'^2 + H'^2 + I'^2} \end{aligned} \quad (12)$$

Для этого необходимо решить систему уравнений (13). Данное преобразование состоит из следующих основных задач: 1) определение коэффициентов уравнений для самого низкого уровня деления пространства объекта (листьев восьмеричного дерева), 2) обратный обход восьмеричного дерева деления объектного пространства, 3) поиск коэффициентов функций,

4) минимизация функций. Таким образом, стоит задача деформации базовой квадратики.

$$\begin{aligned} A' &= A/4, \\ B' &= B/4, \\ C' &= C/4, \\ D' &= D/4, \\ E' &= E/4, \\ F' &= F/4, \\ G' &= G/2 + i*A/2 + j*D/4 + k*E/4, \\ H' &= H/2 + i*D/4 + j*B/2 + k*F/4, \\ I' &= I/2 + i*E/4 + j*F/4 + k*C/2, \\ K' &= K + i*G/4 + j*N/4 + k*I/4, \end{aligned} \quad (13)$$

Решаются системы линейных уравнений (8) на каждом уровне рекурсии, определяются одинаковые коэффициенты уравнений (с учетом установленного порога точности приближения) и минимизируется количество функций на каждом уровне, только после обработки всех уравнений данного уровня происходит всплытие на следующий верхний уровень, и так процесс повторяется до самого корня восьмеричного дерева. В результате получается необходимый минимум функций, описывающих данный объект в формате описания функционально-заданных объектов на базе квадрик с аналитическими функциями возмущения.

**Заключение**

В данной работе представлен метод реконструкции человеческого лица по данным стереопары с применением аналитических функций возмущения. Преобразование происходит с помощью обратного обхода дерева деления объектного пространства. Обратное рекурсивное деление объектного пространства используется для поиска функций, описывающих объект.

**Список літератури**

1. Вяткин С. И. Распознавание человеческого лица с использованием функциональных масок / С. И. Вяткин, А. Н. Романюк // The Eighth International Scientific-Practical Conference [«INTERNET-EDUCATION-SCIENCE» (IES-2012)], (1 – 5 October, Vinnytsia, Ukraine), 2012. – С. 170.
2. Gtielch E. Results of test on image matching / E. Gtielch // Fourth Int Arch Photogrammetry Remote Sensing 27(III). – 1988. – С. 254-271.
3. Hannah MJ. Digital stereo image matching techniques / MJ. Hannah // Int Arch Photogrammetry Remote Sensing 27(III). – 1988. – С. 280-293.
4. Nishihara H. K. Stereo vision for robotics / H. K. Nishihara, T. Poggio // ISRR83 Conference (Bretton Woods, NH). – 1983.
5. Anandan P. A computational framework and an algorithm for the measurement of motion / P. Anandan // Int J Computer Vision. – 1989. – С. 283-310.
6. Fua P. A parallel stereo algorithm that produces dense depth maps and preserves image features / P. Fua // Machine Vision Applications. – 1993. - 6(1).
7. Вяткин С.И. Преобразование полигональных моделей в функционально базируемые объекты / С. И. Вяткин // Международный научно-технический журнал [«Измерительная и вычислительная техника в технологических процессах»] / Хмельницький національний університет. – 2008. – № 1. – С. 146-150.
8. Вяткин С.И. Моделирование сложных поверхностей с применением функций возмущения / С. И. Вяткин // Автометрия. – 2007. – Т. 43, № 3. – С. 40–47.

*Надійшла до редакції 21.05.2013*

**С. І. ВЯТКІН<sup>1</sup>, С. О. РОМАНЮК<sup>2</sup>, М. П. ПІДДУБЕЦЬКА<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Інститут автоматичної та електрометрії СВ РАН

<sup>2</sup> Вінницький національний технічний університет

**ТРИВИМІРНА РЕКОНСТРУКЦІЯ ЛЮДСЬКОГО ОБЛИЧЧЯ ЗА ДАНИМИ СТЕРЕОПАРИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ АНАЛІТИЧНИХ ФУНКЦІЙ ЗБУРЕНЬ**

У даній роботі представлений метод реконструкції людського обличчя за даними стереопари із застосуванням аналітичних функцій збурення. Наведено теоретичні відомості та практичні аспекти алгоритму кореляції.

**Ключові слова:** карта глибини, алгоритм кореляції, квадрика, функція збурення, стереопари.

**S. I. VIATKIN<sup>1</sup>, S. O. ROMANIUK<sup>2</sup>, M. P. PIDUBETSKA<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Institute of Automation and Electrometry SB RAS, Russia

<sup>2</sup> Vinnitsia National Technical University, Ukraine

**HUMAN FACE THREE-DIMENSIONAL RECONSTRUCTION BY STEREOPAIR DATA USING ANALYTIC FUNCTIONS OF PERTURBATION.**

This work presents a method for human face reconstruction, according to stereopair data with using analytic functions of perturbation. Theoretical and practical aspects of data correlation algorithm are provided.

**Key words:** depth map, correlation algorithm, quadrics, function of perturbation, stereopair.