

УДК 004.9

**А.А. Крыловецкий, И.С. Черников**

### **НОРМАЛИЗАЦИЯ 3D-МОДЕЛИ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО СПИНОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ**

*Построение глобальных дескрипторов поверхности трёхмерных моделей является одной из наиболее сложных задач трёхмерного компьютерного зрения. Глобальные дескрипторы описывают форму всей поверхности модели и, в основном, применяются для сравнения моделей друг с другом. Новые глобальные дескрипторы основаны на принципе построения популярных локальных дескрипторов поверхности спиновых изображений. За счёт простоты вычисления и эффективных дескрипторных характеристик разработанные дескрипторы показывают достаточно хорошие результаты при решении задачи сравнения моделей. Особенностью новых глобальных дескрипторов является необходимость специальной предварительной нормализации трёхмерных моделей. В настоящей работе представлен эффективный и робастный метод нормализации моделей и введено понятие новых глобальных дескрипторов поверхности интегральных спиновых изображений.*

*3D-модель; нормализация; глобальный дескриптор поверхности; интегральное спиновое изображение.*

**A.A. Krylovetsky, I.S. Chernikov**

### **3D-MODEL NORMALIZATION FOR INTEGRAL SPIN IMAGE ESTIMATION**

*3d-model global surface descriptor construction is one of the most complex issues in three-dimensional computer vision. Global surface descriptors describe the shape of the whole model's surface and are basically used for model matching. New global descriptors are based on the concept of popular local surface descriptors spin images. Due to its easy computation and effective descriptive features the global surface descriptors show sufficiently good results in model matching. The requirement of special preliminary 3d-model normalization is the peculiarity of new global descriptors. In this paper we present effective and robust model normalization method and introduce the idea of new global surface descriptors integral spin images.*

*3d-model; normalization; global surface descriptor; integral spin image.*

**Введение.** В настоящее время открытой и актуальной является проблема сравнения формы поверхности трёхмерных моделей. Один из самых популярных подходов к решению данной проблемы заключается в использовании глобальных дескрипторов поверхности. Такие дескрипторы содержат информацию о форме поверхности всей модели. Сложность получения глобальных дескрипторов состоит в том, что изначально сравниваемые модели по-разному локализованы и ориентированы в пространстве и имеют разный масштаб. Существуют различные подходы к решению данной проблемы. Их достаточно полный обзор приведён в [1]. В нашей работе мы опираемся на подход, согласно которому перед непосредственным вычислением дескриптора происходит обработка (нормализация) модели. Мы используем глобальные дескрипторы, основанные на идее спиновых изображений, и метод нормализации трёхмерных моделей, разработанный специально для вычисления этих дескрипторов.

Спиновые изображения впервые были предложены в [2]. Они зарекомендовали себя как отличные локальные дескрипторы поверхности для решения таких задач, как распознавание объектов и грубое совмещение поверхностей. Разработанные на основе идеи обычных спиновых изображений глобальные дескрипторы поверхности (интегральные спиновые изображения) оказались также весьма эффективными при решении задачи сравнения трёхмерных моделей. Для вычисления интегральных спиновых изображений необходима специальная обработка (норма-

лизация) моделей. В общем случае задача нормализации моделей подразумевает оптимальное масштабирование моделей и выравнивание их относительно друг друга в некоторой общей системе координат, что является весьма сложной задачей компьютерного зрения. Однако за счёт специфических свойств спиновых изображений процедура нормализации моделей заметно упрощается. В данной работе рассматривается эффективная и полностью работоспособная процедура нормализации 3D-модели для вычисления интегрального спинового изображения. Нормализация включает оптимальное масштабирование модели, выбор опорной точки и вектора интегрального спинового изображения.

**1. Интегральные спиновые изображения.** Обычные спиновые изображения специальным образом кодируют распределение точек, находящихся в окрестности некоторой опорной точки [2]. Спиновое изображение представляет собой двумерную целочисленную матрицу. Для построения спинового изображения необходимы опорная точка поверхности модели, вектор нормали в этой точке и координаты всех точек, попавших в окрестность опорной точки. Таким образом, обычное спиновое изображение содержит информацию о небольшом участке формы поверхности модели (рис. 1). Важным свойством спинового изображения является его инвариантность преобразованиям вращения и трансляции. Эта особенность спиновых изображений определяет удобство и эффективность их использования в качестве глобальных дескрипторов поверхности, а также делает возможным разработку робастного метода оптимальной нормализации трёхмерных моделей для вычисления интегральных спиновых изображений.

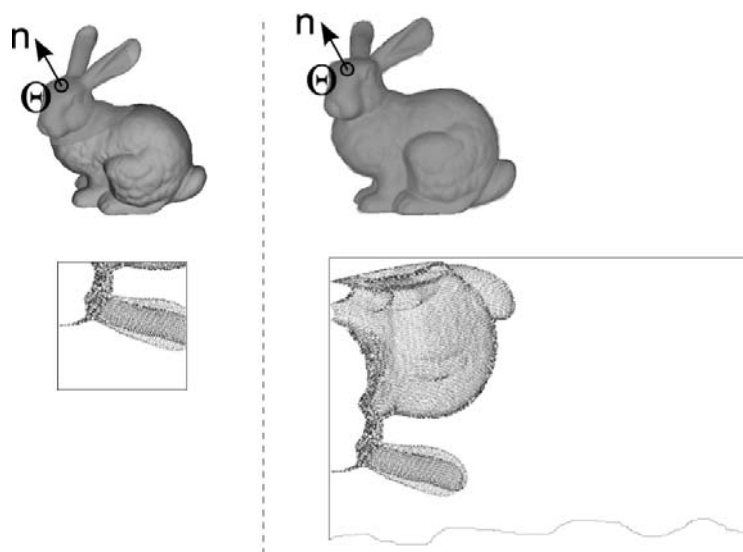


Рис. 1. Слева – спиновое изображение, построенное в точке  $\Theta$  модели с нормалью  $n$  (описывает часть поверхности в окрестности опорной точки); справа – интегральное спиновое изображение (описывает всю поверхность модели)

Интегральные спиновые изображения содержат информацию о форме всей поверхности модели. Поэтому при построении интегрального спинового изображения точки поверхности не ограничиваются окрестностью и обрабатываются все без исключения (рис. 1). Нормализация модели необходима для оптимального масштабирования модели, определения опорной точки и вектора интегрального спинового изображения.

Помимо обычных спиновых изображений, известны их модификации [3], которые можно также успешно использовать в качестве глобальных дескрипторов поверхности для сравнения трёхмерных моделей.

**2. Нормализация моделей.** Как уже было отмечено выше, нормализация трёхмерной модели для вычисления интегрального спинового изображения включает оптимальное масштабирование модели, определение опорной точки и вектора спинового изображения. Две модели имеют одинаковый масштаб, если средние отклонения соответствующих наборов точек равны единице. Таким образом, оптимальным коэффициентом масштабирования будет

$$s = \frac{1}{\sqrt{D}},$$

где  $D$  – среднее отклонение точек модели.

В качестве опорной точки для формирования интегрального спинового изображения целесообразно выбрать центр масс модели. Центр масс находится как среднее арифметическое координат точек трёхмерной модели. Очевидно, что центры масс двух одинаковых трёхмерных моделей имеют одинаковое расположение. Кроме того, в [1] показано, что две модели с центрами масс, помещёнными в начало общей системы координат, являются оптимально локализованными.

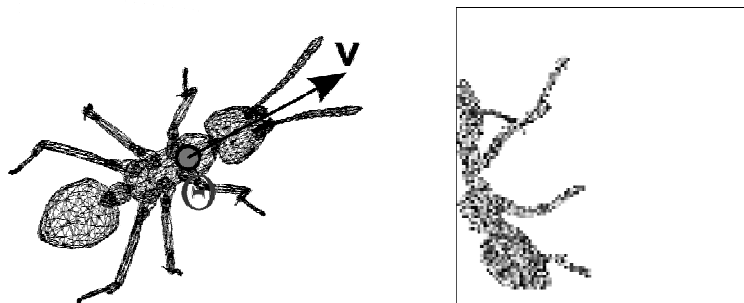


Рис. 2. Слева – нормализованная модель:  $\Theta$  – опорная точка интегрального спинового изображения – центр масс модели;  $v$  – вектор, найденный методом PCA. Справа – графическое представление интегрального спинового изображения

Для определения опорного вектора мы используем популярный метод уменьшения размерности системы – метод главных компонент (Principal Component Analysis – PCA). Вычисление главных компонент сводится к вычислению собственных векторов и собственных значений ковариационной матрицы исходных данных. Причём количество главных компонент соответствует размерности данных. В случае 3D-модели, заданной центрированным (центр масс модели находится в начале координат) облаком точек в трёхмерном пространстве  $P = \{p_1, \dots, p_n\} \subset R^3$ , элементом ковариационной матрицы  $C$  будет

$$C_{ij} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n p_k^{(i)} * p_k^{(j)},$$

где  $p_k^{(i)}$  и  $p_k^{(j)}$  – соответственно  $i$ -я и  $j$ -я координаты точки  $p_k$ . Матрица  $C$  – квадратная симметричная матрица размерностью 3. Симметричность матрицы обуславливает то, что её собственные векторы образуют полную ортогональную систему векторов. Собственные векторы ковариационной матрицы  $C$  уникальным

образом характеризуют распределение точек вдоль каждой координаты пространства. Таким образом, в результате анализа похожих трёхмерных моделей методом PCA будут получаться похожие тройки собственных векторов. Для вычисления интегральных спиновых изображений достаточно выбрать только один из этих векторов. Удобно выбирать вектор, соответствующий наибольшему собственному значению ковариационной матрицы модели.

**3. Результаты.** Описанная выше процедура нормализации трёхмерных моделей была апробирована на крупной базе Princeton Shape Benchmark [4], включающей 1814 моделей различной формы и сложности. Некоторые нормализованные модели и соответствующие им интегральные спиновые изображения представлены на рис. 3.

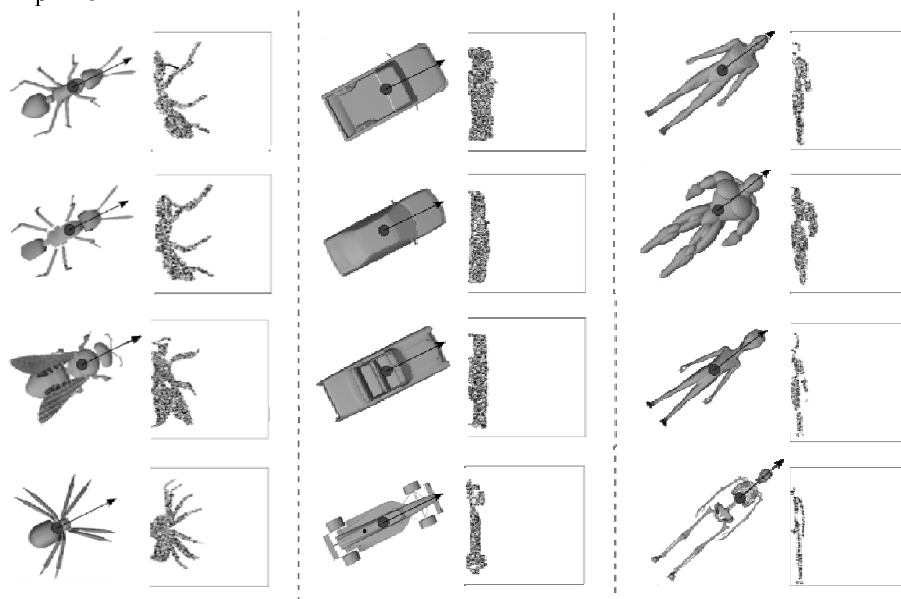


Рис. 3. Нормализованные трёхмерные модели и графические представления соответствующих интегральных спиновых изображений

Видно, что моделям, имеющим схожую форму, соответствуют визуально похожие интегральные спиновые изображения. Применяя к интегральным спиновым изображениям простые статистические методы (например, коэффициент корреляции), можно двум трёхмерным моделям поставить в соответствие коэффициент их похожести, обеспечив тем самым эффективный механизм сравнения трёхмерных моделей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kazhdan M. Shape Representations And Algorithms For 3D-Model Retrieval. PhD thesis, Princeton University, 2004.
2. Johnson A.E., Hebert M. IEEE Trans // Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1999. – № 21 (5). – P. 433-449.
3. Крыловецкий А.А., Черников И.С. Модифицированные спиновые изображения в системах трехмерной реконструкции // Телематика'2010: Тр. XVII Всерос. науч.-метод. конф. – СПб. 21-24 июня 2010 г.
4. Princeton Shape Benchmark, <http://shape.cs.princeton.edu/benchmark/>.

Статью рекомендовал к опубликованию к.ф.-м.н., доцент Н.А. Тюкачев.

**Крыловецкий Александр Абрамович** – Воронежский государственный университет; e-mail: aakryl@sc.vsu.ru; 394006, г. Воронеж, Университетская площадь, 1; тел.: +74732304639; кафедра цифровых технологий; зам. декана факультета компьютерных наук; к.ф.-м.н.; доцент кафедры цифровых технологий.

**Черников Игорь Сергеевич** – e-mail: ichernikov@yandex.ru; тел.: +79081446258; кафедра цифровых технологий; аспирант.

**Krylovetsky Alexander Abramovich** – Voronezh State University; e-mail: aakryl@sc.vsu.ru; 1, Universitetskaya ploshad, Voronezh, 394006, Russia; phone: +74732304639; the department of digital technologies; vice dean of computer science faculty; cand. of phis.-math. sc.; associate professor.

**Chernikov Igor Sergeevich** – e-mail: ichernikov@yandex.ru; phone: +79081446258; the department of digital technologies; postgraduate student.

УДК 004.93

**А.Н. Гнеушев**

### **ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛИЦА ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ МОДЕЛИ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ БАЗИСНЫХ ФУНКЦИЙ**

*Рассматривается задача автоматической локализации характерных точек лица на изображении. На основе исследований [1–4] развивается подход построения текстурной модели объекта путем аппроксимации обучающего множества изображений с помощью оптимизации системы базисных функций. Каждое изображение элемента лица из обучающей выборки описывается весовым вектором в полученном базисе и координатами характерных точек. Оценивание параметров изображения объекта производится с помощью минимизации невязки весовых векторов модели и проекции изображения в базисном пространстве по параметрам преобразования модельной системы координат.*

*Текстурная модель; оптимизация базиса; оценка положения лица; слежение; выделение характерных точек лица; Gabor Wavelet Network.*

**A.N. Gneushev**

### **FACIAL FEATURES ESTIMATION BY IMAGE MODEL OPTIMIZATION IN SPACE OF THE BASIC FUNCTIONS**

*Consideration was given to a problem of the facial features localization in an image. Under investigation [1–4] the approach of the textural model construction by the learning image set approximation by optimization of the basic function system has been improved. Each facial feature's texture of the learning set is described by weight vector in the obtained basis and the set of the characteristic point coordinates. The parameters of the object image under consideration are estimated by minimizing the residual of the model weight vectors and projection of the image in the basic space for parameters of the model coordinate system transformation.*

*Textural pattern, decomposition optimization; Gabor basic functions; face localization; face tracking; face features extraction; Gabor Wavelet Network.*

**Введение.** В связи с повышенным интересом к проблеме распознавания и автоматического анализа видеоизображений объектов со сложной структурой, таких как лицо человека, большое значение имеют задачи обнаружения объекта, отдельных его элементов (глаза, нос, губы), определения их границ. Для решения этих задач необходимо построить текстурную модель изображений целевых объектов, с помощью которой можно локализовать соответствующую область. Текстурную модель изображений с неоднородной структурой целесообразно строить на основе аппроксимации целых областей некоторым семейством базисных функций, выбранных таким образом, чтобы наиболее эффективно представлять текстуру целе-