

Kalashnikov Gleb Valerievich

E-mail: gleb@fep.tti.sfedu.ru.

The Department of Electronic Apparatuses Design; Postgraduate Student.

Ptashnik Vitaliy Vladimirovich

E-mail: VitPtashnik@gmail.com

The Department Technology of Micro and Nano Devices; Postgraduate Student.

УДК 51-74

Я.С. Коровин, М.В. Хисамутдинов

**МЕТОД ВЫЧИСЛЕНИЯ КООРДИНАТ ВЫСОТЫ ИЗДЕЛИЙ В СИСТЕМЕ
БЕСКОНТАКТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗНОВЫСОТНОСТИ ТВС
АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА***

Рассматривается новый метод вычисления координат высоты видимых ТВС, используемый в системе бесконтактного определения разнорысотности ТВС в активной зоне реактора. Применены алгоритмы цифровой обработки изображения, проведен ряд математических преобразований. Проведено моделирование системы и построена графическая модель реакторного помещения. Система на основе данного метода прошла апробацию на первом энергоблоке Волгодонской АЭС.

Активная зона; тепловыделяющая сборка (ТВС); телевизионная камера; 3D модель.

Y.S. Korovin, M.V. Khisamutdinov

**METHOD OF CALCULATION OF COORDINATES OF HEIGHT OF
PRODUCTS IN SYSTEM OF CONTACTLESS DEFINITION OF
RAZNOVYSOTNOSTI TVC OF THE ACTIVE ZONE OF THE REACTOR**

In this paper a new method for calculating the coordinates of the visible height of FA used in the system of non-contact height detection in the reactor core is depicted. Digital image processing algorithms, number of mathematical transformations are applied. The system emulation is proceeded, a 3D model of the reactor building is worked out. The system on the basis of the given method has passed approbation on the first power unit of the Volgodonsk atomic power station.

Active zone; fuel assembly (FA); 3D model.

Введение. В данной статье рассмотрен метод вычисления координат высоты видимых ТВС (тепловыделяющих сборок – далее изделий). Данный метод применяется в системе бесконтактного определения разнорысотности ТВС активной зоны атомного реактора типа ВВЭР-1000. Система исключает механических контакт с изделиями, повышает безопасность контроля технологических операций с топливом, проводимых в период ППР (планово-перегрузочных работ). Исходными данными являются фотографии активной зоны реактора, а также данные о положении камеры с терминала оператора перегрузочной машины. Снимки активной зоны реактора проходят несколько алгоритмов фильтрации изображения, по полученным данным вычисляются координаты высоты видимых изделий.

В методе [1] предлагается решение данной задачи с помощью классической фотограмметрии, т.е. съемки одного и того же объекта с различных ракурсов [2]. В реальных производственных условиях это неприемлемо, потому что определение разнорысотности бесконтактным методом осуществляется в процессе инвен-

* Работа выполнена при поддержке: РФФИ (грант № 10-08-01290-а).

таризации; камера имеет фиксированный маршрут, заданный заранее. Большинство изделий попадают в область видимости камеры только с одного ракурса. В связи с этим разработан метод, позволяющий вычислить координаты видимых изделий с одного ракурса. При этом используется процедура привязки обрабатываемых снимков верхней горизонтальной цилиндрической поверхности рассматриваемой активной зоны к координатам расположения ТВС, которые импортируются из соответствующей базы данных по каналу сети Ethernet после этапа выполнения технологических операций с ядерным топливом.

Улучшение качества изображения. Изображения, полученные с камеры, имеют высокий уровень шума, так как следующий этап предполагает использование преобразований Хафа необходимо произвести предобработку с целью подавления шума. Для улучшения качества изображения применено сложение серии снимков.

На рис. 1 слева представлен одиночный кадр полученный камерой телевизионной системы “Диаконт”, справа представлен фрагмент кадра полученного медианным сложением [3] 15 одиночных кадров.



Рис. 1. Сложение множества кадров, улучшение качества изображения

Поиск эллипсов на изображении. В методе [1] используется алгоритм, основанный на выделении границ методом Кэнни. После выделения границ производится дальнейшая фильтрация изображения с целью выделения элементов кривых принадлежащих окружностям. На завершающем этапе кривые объединяются в группы, и производится вписывания эллипсов. Данный подход имеет ряд недостатков: из-за зашумленности изображения, либо из-за несовершенства алгоритма детектирования границ могут появиться «потерянные» точки на кривой, так же, как и небольшие отклонения от идеальной формы эллипса. По этим причинам часто довольно сложно сгруппировать выделенные границы в соответствующий набор эллипсов. Назначение преобразования Хафа в том, чтобы разрешить проблему группировки граничных точек путём применения определённой процедуры голосования к набору параметризованных объектов изображения [4]. Для поиска эллипсов на изображении в данной работе применяются обобщённые преобразования Хафа [5]. На рис. 2 представлено входное изображение, а на рис. 3 изображение с эллипсами, найденными при помощи обобщенных преобразований Хафа.

Вычисление координаты высоты видимых изделий. По имеющимся данным координат центров вписанных эллипсов на плоскости X, Y , а также данным о положении камеры и расположении изделий на плоскости вычисляются высоты изделий Z .



Рис. 2. Входное изображение для преобразований Хафа



Рис. 3. Изображение с эллипсами, найденными при помощи обобщенных преобразований Хафа

Входными данными метода являются:

Глобальные координаты анализируемой точки в пространстве – вектор P_{glob} , элемент $PointGlobalCoordinatesZ$ пустой:

$$P_{glob} = \begin{pmatrix} PointGlobalCoordinatesX \\ PointGlobalCoordinatesY \\ PointGlobalCoordinatesZ \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Глобальные координаты камеры в пространстве – $PosKam$:

$$PosKam = \begin{pmatrix} CameraPositionX \\ CameraPositionY \\ CameraPositionZ \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Отметим, что выражения (1) и (2) записаны в расширенной нотации однородных координат, которая является самой распространённой в робототехнике и задачах трансформации твёрдых тел.

Углы поворота камеры – α, β, γ ;

Фокус камеры – $CameraFocus$;

Размер изображения получаемого камерой в пикселях $MatrixMaxCoordinates$:

$$\text{MatrixMaxCoordinates} = \begin{pmatrix} 0 \\ \text{ImagePixelWidth} \\ \text{ImagePixelHeight} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Физический размер матрицы в миллиметрах MatrixSize :

$$\text{MatrixSize} = \begin{pmatrix} 0 \\ \text{MatrixWidth} \\ \text{MatrixHeight} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Координаты точки на отображении снимка полученного камерой ResultPointX , ResultPointY . Запишем формулы перехода от координат точки Pglob в координаты камеры CoordsInKam :

$$\text{PotnKam} = \text{Ry}(-\alpha) \cdot \text{Rz}(-\gamma) \cdot \text{Rz}(-\beta) \cdot \text{Pglob} - \text{PosKam} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

где

$$\text{Ry}(\beta) = \begin{pmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{Rz}(\gamma) = \begin{pmatrix} \cos(\gamma) & -\sin(\gamma) & 0 & 0 \\ \sin(\gamma) & \cos(\gamma) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

$$\text{PKamMm} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \text{PotnKam} \cdot \frac{\text{CameraFocus}}{\text{PotnKam}_{0,0} - \text{CameraFocus}} \quad (6)$$

$$\text{CoordsInKam} = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{-\text{PkamMm}_{1,0} \cdot \text{MatrixMaxCoordinates}_{1,0}}{\text{MatrixSize}_{1,0}} \\ \frac{-\text{PkamMm}_{2,0} \cdot \text{MatrixMaxCoordinates}_{2,0}}{\text{MatrixSize}_{2,0}} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{\text{MatrixMaxCoordinates}_{1,0}}{2} \\ \frac{\text{MatrixMaxCoordinates}_{2,0}}{2} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

Имея координаты точки пикселя CoordsInKam , подставим их в (7) и выразим PkamMmObr (8):

$$\text{PkamMmObr} = \begin{pmatrix} 0 \\ -A_{1,0} \cdot \frac{\text{MatrixSize}_{1,0}}{\text{MatrixMaxCoordinates}_{1,0}} \\ -A_{2,0} \cdot \frac{\text{MatrixSize}_{2,0}}{\text{MatrixMaxCoordinates}_{2,0}} \end{pmatrix} \quad (8)$$

где

$$A = \text{CoordsInKam} - \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{\text{MatrixMaxCoordinates}_{1,0}}{2} \\ \frac{\text{MatrixMaxCoordinates}_{2,0}}{2} \end{pmatrix};$$

Подставим $PKamMmObr$ в (6) вместо $PKamMm$ и выразим $PotnKam$, затем подставим $PotnKam$ в (5) и выразим неизвестную глобальную координату точки Z , получим искомый результат (9):

$$Z = \frac{PKamMmObr_{2,0} \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\gamma) \cdot (Pglob_{0,0} - PosKam_{0,0})}{CameraFocus \cdot \cos(\alpha) + PKamMmObr_{2,0} \cdot \sin(\alpha)} - \frac{PKamMmObr_{2,0} \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\gamma) \cdot (Pglob_{1,0} - PosKam_{1,0})}{CameraFocus \cdot \cos(\alpha) + PKamMmObr_{2,0} \cdot \sin(\alpha)} - \frac{PKamMmObr_{2,0} \cdot CameraFocus}{CameraFocus \cdot \cos(\alpha) + PKamMmObr_{2,0} \cdot \sin(\alpha)} + \frac{CameraFocus \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\gamma) \cdot (Pglob_{0,0} - PosKam_{0,0})}{CameraFocus \cdot \cos(\alpha) + PKamMmObr_{2,0} \cdot \sin(\alpha)} + \frac{CameraFocus \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\gamma) \cdot (Pglob_{1,0} - PosKam_{1,0})}{CameraFocus \cdot \cos(\alpha) + PKamMmObr_{2,0} \cdot \sin(\alpha)} + PosKam_{2,0} \tag{9}$$

Экспериментальные исследования. Было проведено сравнение данных, полученных механическим методом, который является основным для определения разности высот ТВС [7], с данными полученными методом СБОР. Результаты определения разности высот полученные с помощью ПО СБОР рис. 4 совпали до 2-го знака после запятой с результатами, полученными на модели и рассчитанными в среде mathCAD. Входными данными для ПО СБОР являлись координаты камеры для 47 ее позиций, а также фотографии, полученные для каждой позиции камеры. Результат представлен на рис. 5. Синий график – высоты 47 ТВС измеренные механическим методом, красный – высоты, рассчитанные ПО СБОР. Коэффициент корреляции Пирсона [8] составляет 0.76, что является удовлетворительным показателем для данной задачи, учитывая то, что на данном этапе СБОР рассматривается как альтернативная система определения разности высотности.

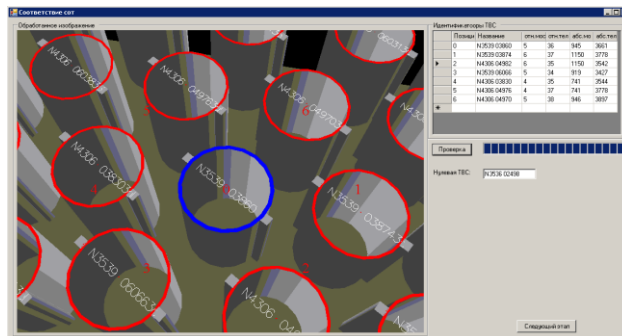


Рис. 4. Результат, полученный системой бесконтактного определения разности высотности

Также был проведен следующий эксперимент – по данным разновысотности полученным механическим методом была построена OpenGL сцена и обработана методом СБОР. Коэффициент корреляции полученных данных с данными модели составил 0.92 (рис. 6).

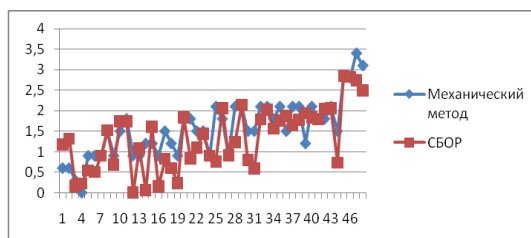


Рис. 5. Сравнение механического метода и бесконтактного метода

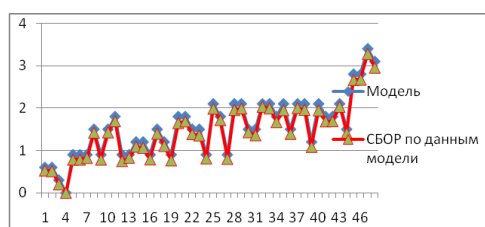


Рис. 6. Сравнение модели и бесконтактного метода по данным модели

Выводы. В результате проведенных работ разработан метод, рассчитанный на использование в реальной системе. Система на основе данного метода прошла апробацию на энергоблоке 1 ВоАЭС. Метод исключает механический контакт с изделиями в процессе инвентаризации, а также позволяет построить 3D модель реакторного помещения. Дальнейшее улучшение алгоритма направлено на исключение данных о координатах изделий на плоскости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Макеев В.В., Поваров В.П., Коробкин В.В., Лебедев О.В.* Система бесконтактного определения разновысотности головок тепловыделяющих сборок в активной зоне реактора. // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2006. – № 16. – С. 37.
2. *Хорн Б.К.* Зрение роботов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 487 с.
3. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений, 2006. – 1073 с.
4. Материалы из свободной интернет энциклопедии: [http://ru.wikipedia.org/wiki/ Преобразование_Хафа](http://ru.wikipedia.org/wiki/Преобразование_Хафа).
5. *Tsuji S., Matsumoto F.* Detection of Ellipses by a Modified Hough Transformation, IEEE Transactions on Computers, 1978.
6. *Дональд Херн, М. Паулин Бейкер.* Компьютерная графика и стандарт OpenGL / Computer Graphics with OpenGL. – 3-е изд. – М.: Вильямс, 2005. – 1168 с.
7. *Хайретдинов В.У., Родионов А.Б., Лященко В.В., Рыжов А.С.* Определение физико-механических характеристик ТВС с помощью переносных систем контроля // Вопросы атомной науки и техники. – 2002. – Вып. 1. – С. 46-52.
8. Материалы из свободной интернет энциклопедии: <http://ru.wikipedia.org/wiki/>. – Корреляция.

Коровин Яков Сергеевич

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: korovin_yakov@mail.ru.

347930, г. Таганрог, 28 пер., дом 14 "В"

Тел.: 88634315941.

Кафедра интеллектуальных и многопроцессорных систем; к.т.н.

Хисамутдинов Максим Владимирович

E-mail: L-V-P@yandex.ru.

г. Таганрог, ул. Безымянный пр-д., 7/1, кв. 8.

Кафедра интеллектуальных и многопроцессорных систем; аспирант.

Korovin Yakov Sergeevich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: korovin_yakov@mail.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634315941.

The Department of Intellectual and Multiprocessing Systems; Cand. of Eng. Sc.

Khisamutdinov Maxim Vladimirovich

E-mail: L-V-P@yandex.ru.

7/1, Anonymous pr-d. Street, sq. 8, Taganrog, Russia.

The Department of Intellectual and Multiprocessing Systems; Postgraduate Student.

УДК 621.383+539.21

С.П. Малюков, А.В. Саенко

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ПЛЁНКОЙ TiO₂ В СЕНСИБИЛИЗИРОВАННОМ КРАСИТЕЛЕМ
СОЛНЕЧНОМ ЭЛЕМЕНТЕ**

Сенсибилизированные красителем солнечные элементы (СКЭС) имеют уникальную структуру, значительно отличающуюся от других типов солнечных элементов. В этих элементах большое влияние на эффективность преобразования солнечного излучения оказывает структура плёнки TiO₂, а также свойства молекул красителя. В статье представлено разработанное приложение MatLab для моделирования поглощения солнечного излучения сенсибилизированной красителем плёнкой TiO₂. Разработанное приложение позволяет оценить влияние толщины плёнки и диаметр частиц TiO₂ на её поглощение солнечного излучения.

Поглощение солнечного излучения; сенсибилизированный красителем солнечный элемент; наноструктурная плёнка TiO₂.

S.P. Malyukov, A.V. Saenko

**SIMULATION OF ABSORPTION SOLAR RADIATION TiO₂ FILM
IN DYE-SENSITIZED SOLAR CELL**

Dye-sensitized solar cells (DSSC) have the unique structure considerably different from other types of solar cells. In these cells the big influence on efficiency conversion solar radiation is rendered by structure of TiO₂ films and also properties of dye molecules. In article developed MatLab application for simulation of solar radiation absorption dye-sensitized TiO₂ film is presented. Designed application allows to evaluate the influence of film thickness and the diameter of the TiO₂ particles on its solar radiation absorption.

Solar radiation absorption; dye-sensitized solar cell; nanostructured TiO₂ film.