

УДК 681.07; 004.932

## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ФИЛЬТРАЦИИ ОПОРНЫХ ТОЧЕК ДЛЯ РАЗНОРАКУРСНОГО КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН

Ахмеров А.Х. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Васильев А.С.  
(Университет ИТМО)

В работе представлен метод дополнительной фильтрации опорных точек изображений, применяемых при вычислении результирующего преобразования координат для разноракурсного комплексирования изображений. Метод основан на геометрическом анализе сопоставляемых пар опорных точек двух разноракурсных изображений одной пространственной области. Рассмотрены преимущества использования предлагаемого метода, его недостатки и ограничения. Представлены результаты применения метода для экспериментальных изображений.

**Введение.** Основной причиной выхода из строя рабочих лопаток паровых турбин является эрозионный износ. Эрозионный износ происходит в результате столкновения лопаток с каплями крупнодисперсной влаги, формирующимися в пару из-за наличия в нём посторонних частиц. Контроль степени износа может быть осуществлён при помощи специализированного оптико-электронного комплекса, основанного на методе эндоскопирования, позволяющего произвести оценку состояния лопаток без необходимости вскрытия корпуса турбины.

Эксплуатация оптико-электронного комплекса эрозионного контроля подразумевает использование многоканального устройства получения изображений для получения цельных снимков поверхностей рабочих лопаток с расширенным полем зрения. Съёмка производится синхронно для всех каналов, а получаемые при этом снимки при помощи методов разноракурсного комплексирования изображений (пространственного совмещения, сшивки) компоуются в единое результирующее изображение всей охватываемой области лопатки.

Применяемые методы разноракурсного комплексирования включают в себя четыре этапа. Первый этап - поиск опорных точек, представляющих собой экстремумы яркости, градиента или других величин, характеризующих область изображения. Второй этап – подсчет дескрипторов опорных точек, представляющих собой совокупность данных об окрестности опорной точки. Третий этап – сопоставление дескрипторов – поиск пар опорных точек двух изображений, соответствующих одной точке пространства, с максимально соответствующими друг другу дескрипторами. Четвертый этап – получение итогового изображения путём геометрического преобразования одного из изображений к координатной системе другого.

После выполнения третьего шага, среди сопоставленных пар опорных точек по-прежнему остаются ошибочные, которые могут повлиять на преобразование координат и вызвать геометрические искажения результирующего изображения. Предлагаемый метод фильтрации помогает снизить количество ошибочных сопоставлений в итоговой выборке, на основе которой подготавливается итоговое преобразование координат.

**Основная часть.** При сопоставлении дескрипторов формируются пары координат, включающие в себя координаты одной и той же точки пространства на первом изображении  $(x_1, y_1)$  и на втором изображении  $(x_2, y_2)$ . В основе метода лежит идея о том, что если оптические оси каналов устройства получения изображений параллельны друг другу, а горизонтальные плоскости матричных фотоприёмных устройств также параллельны друг другу (отсутствует поворот матрицы одного канала относительно матрицы другого), расстояние в евклидовом пространстве между координатами одной и той же точки реального

пространства на двух изображениях является постоянной величиной. Аналогичное суждение верно и для углового коэффициента прямой, проведенной через точки с координатами  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ . В неидеальном случае эти величины непостоянны, но лежат в пределах определенной области в окрестности номинального значения.

Для поиска расстояния производится построение и анализ (анализировать можно как вручную, так и автоматически) гистограммы расстояний между сопоставляемыми опорными точками. Пиковая область гистограммы расстояний в данном случае характеризует как величину искомого расстояния, так и его рассеяние.

Для каждой из пар опорных точек может быть найден угловой коэффициент прямых, соединяющих их. Фильтрация опорных точек также производится по найденным угловым коэффициентам прямых. Как и для расстояния в евклидовом пространстве, для угловых коэффициентов можно осуществить построение и анализ гистограммы. Пиковая область характеризует верное направление. Фильтрация производится путём отсеивания пар опорных точек, расстояния или угловые коэффициенты которых не входят в выделенные при гистограммной обработке диапазоны. Таким образом, метод позволяет произвести полное или частичное устранение ложных сопоставлений, обеспечивая более точное формирование итогового преобразования координат.

Рассматриваемый метод имеет недостатки и ограничения. Если плоскости горизонта матричных фотоприёмников не параллельны (присутствует поворот вокруг оптической оси), равенство, лежащее в основе алгоритма, становится неверным. Для компенсации угла поворота одного матричного фотоприёмника относительно другого могут быть использованы алгоритмы обработки изображений, однако при этом поле зрения (для системы с матричным фотоприёмником поле зрения имеет прямоугольный вид) будет ориентировано неверно, что может плохо сказаться на согласовании полей зрения каналов системы в целом. Также следует учитывать, что при использовании предлагаемого метода дополнительной фильтрации общее количество опорных точек уменьшается в результате отсеивания, что накладывает ограничение на минимальное количество точек, полученных в процессе сопоставления (приблизительно, не менее 20).

**Выводы.** Представлен геометрический метод дополнительной фильтрации сопоставляемых опорных точек, основанный на постоянстве различия координат одной и той же точки пространства на комплексируемых изображениях при параллельности оптических осей каналов системы и параллельности горизонтальных плоскостей матричных фотоприёмников. Предложенный метод успешно реализован и опробован на экспериментальных изображениях. Выявлено минимальное пороговое количество опорных точек для функционирования алгоритма.