

А. Л. ПУЛАРИЯ (ДИИТ), М. Е. СЕРДЮК (ДНУ им. О. Гончара, Днепропетровск)

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Розглянуто питання обробки зображень, отриманих у результаті цифрової фотозйомки, з використанням методу каркасної інтерполяції при технічному діагностуванні рухомого складу залізниць.

Рассмотрен вопрос обработки изображений, полученных в результате цифровой фотосъемки, с применением метода каркасной интерполяции при технической диагностике подвижного состава железных дорог.

The problem of processing images obtained as a result of digital photographing during the railway rolling stock technical diagnostics, using the method of skeleton interpolation, is considered.

В условиях интенсивного развития компьютерных технологий, все большее распространение получает применение цифровой фото- и видеотехники и методов компьютерной графики во многих областях деятельности человека, в частности, в технической диагностике. Важнейшей функцией компьютерной графики является возможность программного увеличения размеров изображения, что, в свою очередь, позволяет выявить мелкие детали изображения, которые плохо видны на исходных фотоснимках. Эта функция может быть использована, в частности, при технической диагностике железнодорожного подвижного состава. Анализируя изображения с увеличением отдельных фрагментов, эксперт может оценить наличие, положение, размеры дефектов и повреждений, принять решение о целесообразности дальнейшей эксплуатации объектов контроля и необходимом объеме ремонтных работ. Важным условием для объективности анализа изображения является сохранение качества увеличенных фрагментов. Актуальным на сегодня является усовершенствование методов обработки цифровых изображений.

Качество изображений, полученных вследствие изменения их пространственных размеров, существенно зависит от методов пространственной интерполяции, которые при этом используются. В большинстве известных методов изменения размеров изображений используется аппарат теории приближений – изображение в каждой малой области считается гладким, что дает возможность описать этот фрагмент изображения полиномом, вейвлетом или другим инструментом. Интерполяция по каким-либо наперед заданным решеткам позволяет получить изображения необходимых размеров. Од-

нако при этом не учитывается структура данного изображения, что приводит к появлению артефактов, таких как размытость, лестничный эффект в наклонных контурах, дублирующие контуры и др., а это искажает полученное изображение и усложняет его анализ.

Для улучшения качества изображений при их увеличении предлагается использовать метод каркасной интерполяции, который использует специфику изображения и позволяет сохранить достаточно высокое его качество после изменения пространственных размеров. В основе метода лежит построение каркаса изображения с использованием сплайнов и заполнение областей между элементами каркаса с помощью реконструкции на основе вариационного подхода. В отличие от большинства известных методов [1, 2], где изображение рассматривается как кусочно-непрерывная функция, что не позволяет учесть специфику растровых изображений, в данном методе изображение рассматривается как линейный непрерывный функционал  $I$  (распределение), определенный на классе финитных функций с прямоугольным носителем  $\Delta$ . Цифровой рисунок в этом случае является результатом действия соответствующего распределения на некоторую совокупность тестовых функций. Процесс восстановления цифрового изображения сводится к построению его порождающей функции  $J$  в определенном функциональном классе. Допустимыми в задачах пространственной интерполяции считаются изображения, порождающие функции которых принадлежат классу функций с ограниченной вариацией:

$$J \in BV(\Delta).$$

Каркасом  $\Omega$  изображения называется утолщенный граф, вершинами которого являются все пиксели пиксельной сетки, а ребрами – отрезки, соединяющие те пиксели, в которых значения функции изображения мало отличаются. Каркас представляет собой некоторое приближение топографической карты изображения и содержит те фрагменты линий уровней, которые проходят через точки пиксельной сетки. На каркасе вводится понятие каркасной интерполяции – это изображение  $I^*$ , для которого: 1) образ его на пиксельную сетку совпадает с образом исходного изображения  $I$ ; 2) носителем его является каркас  $\Omega$ ; 3) существует интегрируемая достаточно гладкая функция  $J^*$  такая, что верно представление

$$\langle I^*, \theta \rangle = \int_{\Omega} J^*(x, y) \theta(x, y) dx dy$$

для всех  $\theta \in D(\Omega)$ .

Первый этап рассматриваемого метода состоит в решении задачи каркасной интерполяции. Это, во-первых, построение каркаса, во-вторых, восстановление на нем функции  $J^*$ .

Для корректного решения задачи каркасной интерполяции используются шеститочечные сплайны [3]. Такой сплайн строится на значениях функции в шести точках, дает наилучший прогноз в середине отрезка и является линией с минимальной локальной кривизной. Использование такого сплайна при решении задачи каркасной интерполяции позволяет получить визуально лучшие результаты.

Процедура построения каркаса заключается в следующем. Для каждого пиксела строится шестизвенная структура – цепь, в которой рассматриваемый пиксел является центральным. Из всех возможных цепей выбирается та, на которой наилучшим образом с помощью шеститочечного сплайна приближается значение функции изображения в пикселе. Таким образом, осуществляется попытка найти ту линию уровня, на которой лежит рассматриваемый пиксел. Из найденной структуры выделяется фрагмент, который попадет в зону влияния данного пиксела. Далее этот фрагмент утолщается определенным образом. Объединение таких фрагментов для всех пикселей образует каркас.

Следующим шагом после построения каркаса является определение значений функции изображения на каркасе. Для этого также ис-

пользуются шеститочечные сплайны, которые строятся на значениях изображения в точках соответствующей цепи.

Второй этап метода состоит в восстановлении функции изображения на всей области по ее значениям на каркасе. Эта задача называется задачей реконструкции изображения. Для ее решения применен вариационный подход. Структура целевого функционала выбрана с учетом того, что результирующее изображение должно отвечать принципу «непрерывного продолжения» Gestaltist'a, в соответствии с которым визуальное восприятие какого-либо изображения должно сохранять гладкую непрерывность всех контуров, вместо резких и обрывистых их изменений. Для исходной вариационной задачи разработана параметризованная задача, которая положена в основу построения численных процедур пространственной интерполяции.

Данный метод реализован в программном обеспечении Space Interpolation. Обработка графических файлов с его помощью подтверждает эффективность данного метода, поскольку визуальное качество фотоснимков, которые увеличивались с использованием Space Interpolation, оказалось лучшим, чем при увеличении этих же снимков методами бикубической интерполяции или интерполяции Ланкчоса. Лучшими в большинстве случаев являются и формальные характеристики оценки качества изображений, такие как PSNR, SSIM, VQM. Это делает целесообразным применение рассмотренного метода при технической диагностике подвижного состава железных дорог.

В качестве иллюстраций представлены фотографии балок рамы пассажирского вагона приписки Одесской железной дороги, которому было проведено техническое диагностирование, специалистами Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта (рис. 1а – 3а). Вагон имел значительные механические и коррозионные повреждения элементов несущей конструкции. При проведении технического диагностирования выполнялась цифровая фотосъемка мест повреждений. Обработка результатов проводилась с использованием метода каркасной интерполяции (рис. 1б – 3б). Полученные результаты позволили объективно оценить характер и величину повреждений, принять решение о возможной дальнейшей эксплуатации вагона.

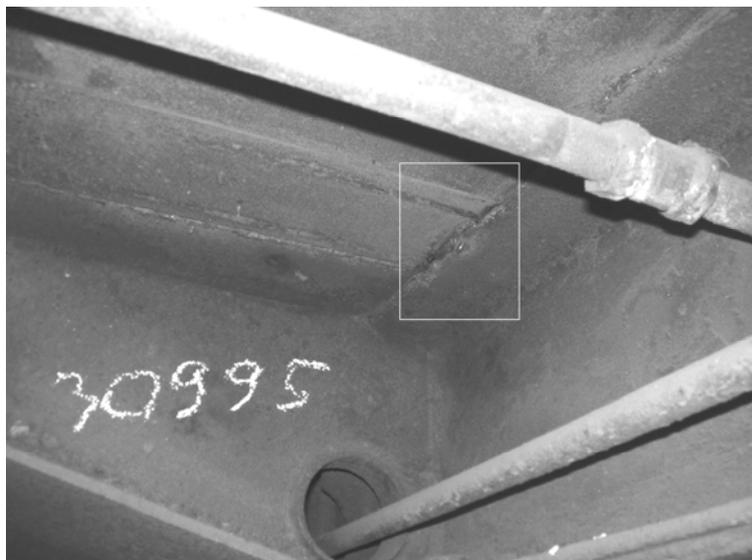


Рис. 1а



Рис. 1б



Рис. 2а



Рис. 2б

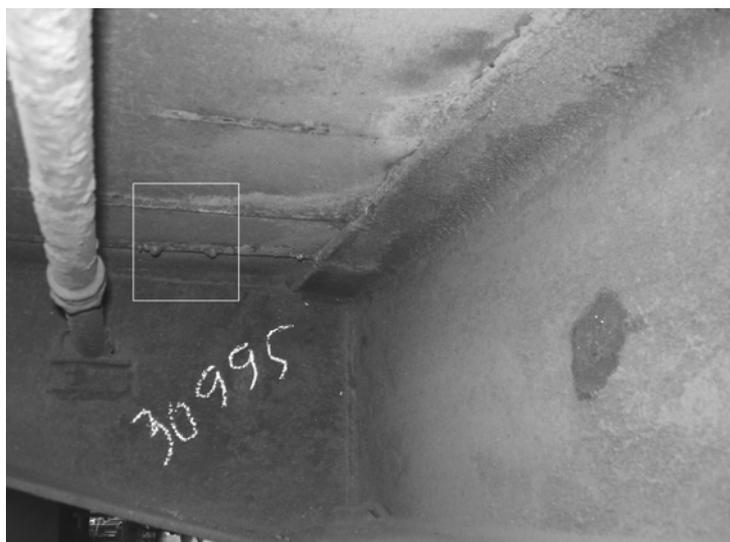


Рис. 3а

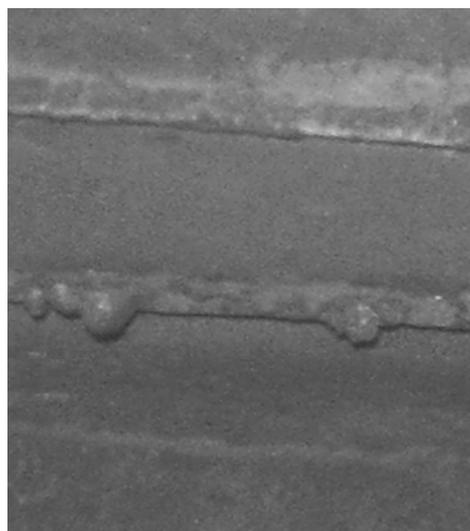


Рис. 3б

Таким образом, применение метода каркасной интерполяции для обработки цифровых фотографий при проведении технической диагностики вагонов позволило получить изображения достаточно высокого качества, которое дало возможность провести анализ дефектов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Carlson, B. Image interpolation and filtering [Text] // IEEE Trans. on ASSP. – March 2000. – Vol. ASSP-26, no. 4.
2. Li, X. New edge directed interpolation [Text] / X. Li, T. Orchard // IEEE Trans. on Image

Processing. – Oct 2001. – Vol. 10, no. 10. – P. 1521-1527.

3. Когут, П. І. Задачі каркасної інтерполяції статичних зображень [Текст] / П. І. Когут, М. Є. Сердюк // Вестник Херсонского нац. техн. ун-та. – Херсон: ХНТУ, 2007. – Вып. 2 (28). – С. 153-157.
4. Лигун, А. А. Асимптотические методы восстановления кривых [Текст] / А. А. Лигун, А. А. Шумейко. – К.: Ин-т математики НАН Украины, 1997. – 358 с.

Поступила в редколлегию 15.06.2010.

Принята к печати 17.06.2010.