

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ЦИФРОВОГО ПАНОРАМНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ СВАРНОГО ШВА

© 2019 г. С.В. Чахлов^{1*}, А.М. Штейн¹, М.М. Штейн¹, Я. Чжун¹, А.С. Маслов^{2,**},
А.В. Ямкин², В.В. Негруль²

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия 634028 Томск, пр-т Ленина, 30

²ООО «Газпром Трансгаз Томск», Россия 634029 Томск, пр-т Фрунзе, 9
E-mail: *chakhlov@tpu.ru; **A.Maslov@gtt.gazprom.ru

Поступила в редакцию 27.02.2019; после доработки 29.05.2019

Принята к публикации 16.08.2019

Разработан алгоритм автоматической сшивки цифровых снимков сварного шва в панорамное изображение. Алгоритм корректирует ориентацию каждого снимка, выравнивая сварные швы по горизонтали. Затем он устраняет неоднородность яркости снимков методом вычитания фона, оцениваемого усреднением по большой окрестности корректируемой точки. Совмещение кадров определяется минимизацией суммы квадратов разности яркостей по области перекрытия. Перекрывающиеся части кадров усредняются методом альфа-смешивания. Алгоритм реализован на языке C++. Полученное панорамное изображение сварного шва сравнивается с панорамой, полученной другим алгоритмом.

Ключевые слова: цифровая радиография, панорамное изображение, обработка изображений.

DOI: 10.1134/S013030821912008X

1. ВВЕДЕНИЕ

Рентгенографический контроль сварочных швов магистральных газо- и нефтепроводов, технологических трубопроводов, промышленных трубопроводов производят с целью выявления поверхностных и внутренних дефектов, к примеру, шлаковых включений, газовых пор, микротрещин и подрезов.

Данный метод показал свою высокую эффективность на практике и в последнее время все чаще используется с применением цифровых регистраторов рентгеновского излучения [1—7].

При контроле протяженных сварных швов цифровыми матричными детекторами [8] излучения возникает задача сшивки изображений отдельных участков шва в панорамное изображение. Большинство методов сшивки работают путем непосредственной минимизации различий между пикселями [9—10], другой класс алгоритмов находит набор характерных точек изображения и сопоставляет их друг с другом [11—13]. Последние алгоритмы потенциально быстрее, если реализованы правильно.

В настоящей работе предложен алгоритм автоматического получения панорамного изображения методом попиксельной минимизации в области перекрытия кадров с предварительным выравниванием фона каждого кадра.

Схема радиографического контроля сварного шва показана на рис. 1. В центре контролируемой трубы находится панорамный рентгеновский аппарат, излучение которого регистрируется цифровым панельным детектором [8], последовательно позиционируемым вне трубы в K положениях с помощью механического манипулятора. Полученные цифровые изображения сварного шва (кадры) перекрываются на 12—18 % ширины кадра.

Часть типичного набора исходных кадров сварного шва показана на рис. 2. На стыках кадров заметны перепады яркости (до 6 % яркости фона) и небольшие вертикальные смещения (до 1,5 % ширины кадра). Таким образом, алгоритм создания панорамного изображения должен: выровнять яркость и совместить кадры по горизонтали и по вертикали.

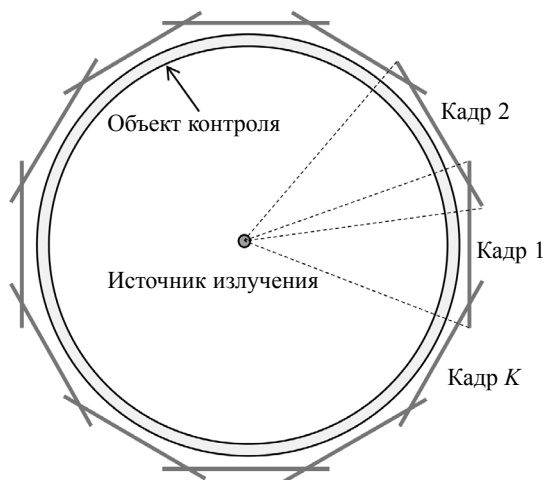


Рис. 1. Схема радиографического контроля сварного шва.

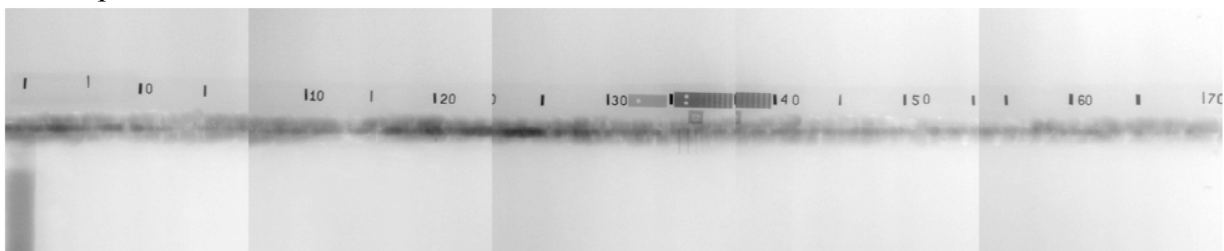


Рис. 2. Часть исходных кадров сварного шва.

2. АЛГОРИТМ

Алгоритм состоит из следующих этапов.

2.1. Определение угла поворота кадров

При перекосе направляющих каретки панельного детектора или люфте каретки изображение сварного шва может оказаться не горизонтальным (рис. 3а).

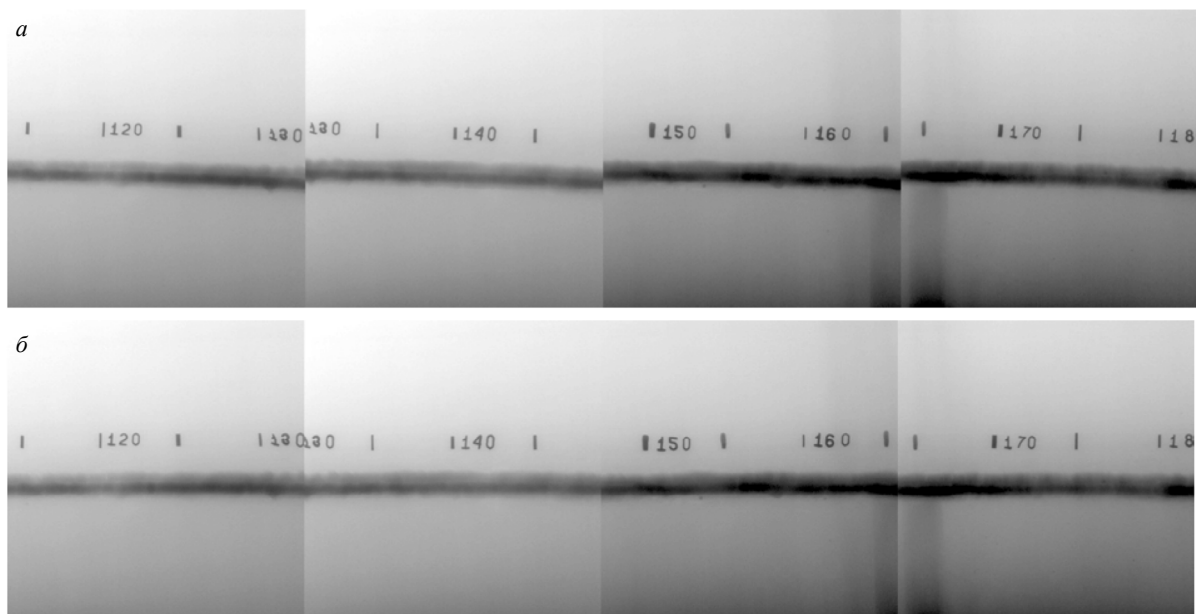


Рис. 3. Негоризонтальная ориентация сварного шва:
а — исходные кадры; б — поворот на 1,892°.

Будем поворачивать каждый кадр так, чтобы сварной шов стал строго горизонтален. На рис. 3б показаны кадры рис. 3а, повернутые на угол, усредненный по всем четырем кадрам $1,892 = (2,222 + 1,812 + 2,979 + 0,554)/4$.

2.2. Выравнивание яркости кадров

Будем выравнивать яркость кадров путем вычитания фона, вычисляемого усреднением соседних точек, лежащих внутри прямоугольника. Такой алгоритм вычисления фона прост и эффективен, но обладает одним недостатком — контрастные объекты также участвуют в создании фона и искажают его, порождая ореол вокруг себя (см. раздел 3). Поэтому была разработана модификация алгоритма, которая не включает в вычисление фона значения, отличающиеся от рассчитываемого фона на величину, превышающую заданный порог.

2.3. Попиксельное совмещение кадров

Совмещение кадров выполняется последовательно. Сначала первый кадр совмещается со вторым, минимизируя сумму квадратов разности яркостей по области перекрытия, потом результирующее изображение совмещается с третьим кадром и так далее до кадра с номером K .

2.4. Альфа-смешивание яркости в области перекрытия

Несмотря на предварительное выравнивание фона кадров нужно дополнительно сглаживать область перекрытия кадров. Каждая точка в этой области имеет два значения яркости, которые сглаживаются простым и эффективным алгоритмом альфа-смешивания.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЕТОВ

Эксперименты проводились на автоматизированном мобильном дефектоскопе (ТУ 3689-250-00165600-2013) производства ОАО «Томский электромеханический завод им. В.В. Вахрушева» (далее — АМД), рентгеновском аппарате РАП-300п и кроулере производства Томского политехнического университета (рис. 4).



Рис. 4. Проведение неразрушающего радиоскопического контроля кольцевого сварного соединения трубопровода Ду 1000 мм с использованием АМД.

Для сравнения с предложенным алгоритмом были взяты результаты, полученные на цифровом радиографическом комплексе ТРАНСКАН производства ООО «АСК-Рентген» (рис. 5). Найти описание алгоритма, используемого в ТРАНСКАН, авторам не удалось.

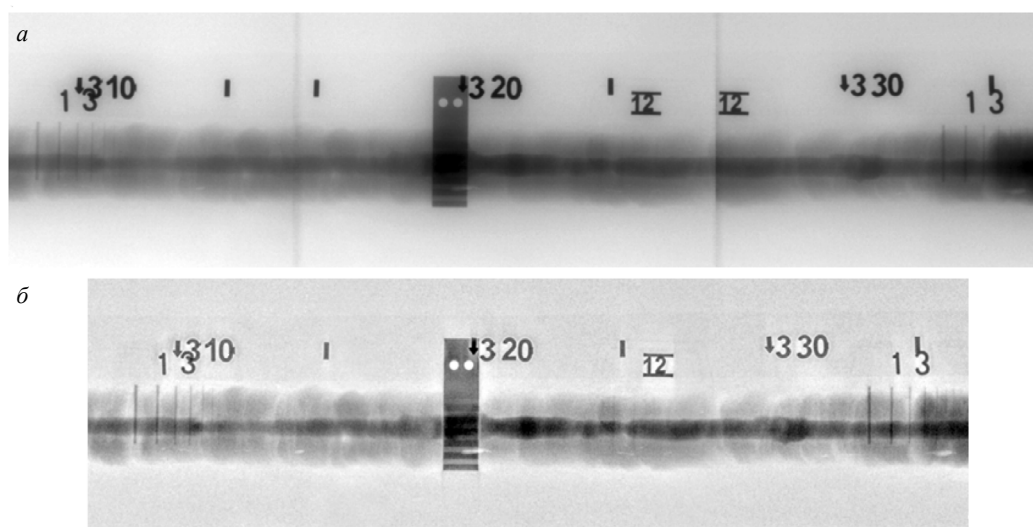


Рис. 5. Результаты, полученные на цифровом радиографическом комплексе ТРАНСКАН производства ООО «АСК-Рентген»:

a — три исходных кадра; *б* — панорамное изображение.

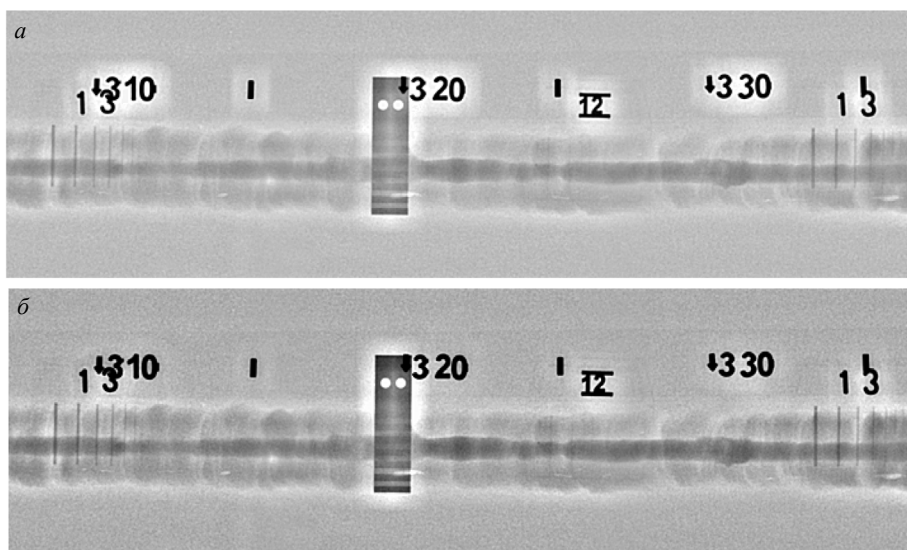


Рис. 6. Панорамы, полученные предложенным алгоритмом для исходных данных рис. 5а: а — без удаления контрастных объектов из фона; б — с удалением контрастных объектов из фона.

Применение нашего алгоритма к обработке тех же исходных данных (рис. 5а) показано на рис. 6.

Сопоставление панорам показывает, что, во-первых, места стыков кадров незаметны как по уровню яркости, так и по совпадению деталей изображения. Во-вторых, на панорамах рис. 6а,б заметно больше деталей внутри сварного шва, чем на рис. 5б. В-третьих, на рис. 6а вокруг контрастных объектов мерного пояса имеется светлый ореол, менее выраженный на снимках рис. 5б. Этот ореол практически удален в версии алгоритма с удалением контрастных объектов из фона (см. рис. 6б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан алгоритм автоматического создания цифрового панорамного изображения сварного шва, который выравнивает ориентацию и фон каждого кадра, а затем попиксельно совмещает соседние кадры, минимизируя среднеквадратичную невязку яркости в области перекрытия кадров. Алгоритм реализован на языке C++ в виде DLL (динамически линкуемой библиотеки) для программы управления АМД. Эффективность алгоритма подтверждает сравнение с результатами, полученными для цифрового радиографического комплекса ТРАНСКАН производства ООО «АСК-Рентген».

Исследование проводилось в Томском политехническом университете в рамках хоздоговора № 5-575/16к с ООО «Газпром трансгаз Томск».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Удод В.А., Ван Я., Осипов С.П., Чахлов С.В., Усачев Е.Ю., Лебедев М.Б., Темник А.К. Современное состояние и перспективы развития систем цифровой рентгенографии для дефектоскопии, диагностики и досмотрового контроля объектов // Дефектоскопия. 2016. № 9. С. 11—28.
2. Буллер А.И., Клименов В.А., Москалев Ю.А., Штейн М.М., Ахмедов В.С., Бабилов С.А., Чахлов С.В. Мобильная система цифровой радиографии для неразрушающего контроля трубопроводов большого диаметра // Контроль. Диагностика. 2012. № 13. С. 185—189.
3. Клименов В.А., Алхимов Ю.В., Штейн А.М., Касьянов С.В., Бабилов С.А., Батракин А.В., Осипов С.П. Применение и развитие методов цифровой радиографии для технической диагностики неразрушающего контроля и инспекции // Контроль. Диагностика. 2013. № 13. С. 31—42.
4. Усачев Е.Ю., Усачев В.Е., Гнедин М.М., Валиков В.В., Точинский Е.Г., Чахлов С.В., Громов А.Ф. Комплекс цифровой радиографии для ревизии сварных соединений действующих трубопроводов // Контроль. Диагностика. 2014. № 6. С. 60—64.
5. Бархатов А.Ф. Системы цифровой радиографии для контроля качества сварных швов магистральных нефтепроводов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2013. № 4 (12). С. 59—63.

6. Реестр наружных сканеров-дефектоскопов для автоматизированного неразрушающего контроля трубопроводов при капитальном ремонте, соответствующих техническим требованиям ПАО «Газпром». URL: <http://vniigaz.gazprom.ru/d/textpage/54/84/reestr-nsd-2017.pdf> (дата обращения: 10.10.2019).
 7. *Вышемирский Е.М.* Совершенствование нормативной базы по сварке и контролю качества сварных соединений магистральных газопроводов. Современные технологии сварки и контроля // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2016. № 10. С. 70—79.
 8. Security & Industrial Flat Panel Detectors [Электронный ресурс] // Varex. URL: <https://www.vareximaging.com/products/security-industrial/security-industrial-flat-panel-detectors> (дата обращения: 10.10.2019).
 9. *Szeliski R.* Image Alignment and Stitching // A Tutorial. Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision. 2006. V. 2. No 1. P. 1—104. DOI 10.1561/0600000009
 10. *Mahan S., Farokhi F.* Image Stitching of the Computed Radiology Images Using a Pixel-Based Approach // International Journal of Smart Electrical Engineering. 2013. V. 2. No 2. Spring. P. 77—85.
 11. *Усачев Е.Ю., Лебедев М.Б., Чахлов С.В.* Метод сшивки рентгеновских изображений // Контроль. Диагностика. 2006. № 2. С. 34—40.
 12. *Brown M., Lowe D.* Recognizing panoramas / In 9-th International Conference on Computer Vision (ICCV'03). Nice, France. 2003. P. 1218—1225.
 13. *Semenishchev E., Marchuk V., Voronin V., Pismenskova M., Tolstova I., Svirin I.* The algorithm stitching for medical imaging / Proc. of SPIE. 2016. V. 9870 98700M-1. P. 1—8.
-