

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ КОРРОДИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБОПРОВОДА И ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ

С.В. Умбетов, С.П. Пронин

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

В данной работе представлен оптический метод контроля коррозии внутренней поверхности трубопровода. Используя широкоугольный объектив для анализа поверхности трубопровода, появляются оптические искажения, которые влияют на реальное положение дефекта и его размеры. Приведены алгоритм устранения геометрических искажений и процесса анализа металлических корродированных поверхностей. Разработанный алгоритм способен обнаруживать дефекты на корродированной поверхности трубопроводов.

Ключевые слова: корродированная поверхность, оптическое изображение, дисторсия, алгоритм коррекции, дефект.

ВВЕДЕНИЕ

Металлические трубопроводы используют в водо- и канализационных системах [1,2,3,4], в нефтегазовой отрасли [5,6,7], на атомных электростанциях [8], при прокладке телекоммуникаций [9].

В процессе эксплуатации стальных труб возникает коррозия, избежать которой невозможно. Для предотвращения разрушений и аварий исследуют различные факторы, влияющие на процесс коррозии [8,9] с целью прогнозирования этого процесса. Разрабатывают методы и средства диагностики стальных труб [10,11,12,13,14].

В настоящее время при внутреннем контроле трубопроводов часто используют технические эндоскопы и приборы телевизионной диагностики совместно с робототехническими системами [2,3,7]. Однако метод визуального осмотра даже с применением программного обеспечения требует от высококвалифицированного оператора напряженного и длительного внимания, что сказывается на качестве контроля.

Цель статьи – разработать алгоритм обработки и анализа изображения внутренней поверхности трубопровода, способного выявить поврежденные коррозией участки трубопровода, которые могут привести к аварии. На основании полученных данных оператор делает заключение о необходимости замены определенных участков трубопровода.

Весь процесс поиска и определения состояния внутренней поверхности трубы состоит из следующих этапов: покадровой съемки объекта, устранения геометрических искажений, подавления шумов и обработки изображения, выделения контуров затененных областей, построения гистограмм распределения цвета.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В данный момент существует множество разнообразных методов и алгоритмов для распознавания изображений с целью поиска местоположения дефекта. Для проведения предварительного анализа существующих подходов были отобраны методы подходящие для распознавания изображений металлических трубопроводов, такие как: метод ориентированных фильтров, матричный метод основанный на вейвлет-преобразованиях и метод оценки изменения формы спектр [4].

Метод ориентированных фильтров представляет собой работу с предварительно подготовленной матрицей признаков и весовых коэффициентов и применения заданного порога дефектности. Данный метод требует для своей работы метрической подготовки исследуемого объекта и составления матрицы признаков повреждений с определенным весовым коэффициентом, при этом, чем больше будет признаков, тем эффективнее работа метода. После подготовки матрицы следует задать пороговое значение для исключения лишних результатов и ускорения времени обработки изображения. В результате работы метода получится матрица с указанием количества повторов каждого признака на изображении.

Матричный метод вейвлет-преобразований как и метод ориентированных фильтров требует предварительной подготовки и настройки на конкретную поверхность при помощи составления таблицы признаков и весовых коэффициентов для каждого признака. Сам метод можно разделить на следующие этапы:

1. Преобразование изображение с использованием вейвлет-преобразования Добеши;
2. Создание матрицы коэффициентов приближения A ;

3. Создание матриц деталей по горизонтали H , вертикали V и диагонали D ;

4. Вычисления числа вхождений для матриц A , H , V , D . Вхождения определяются по числу схем взаимно расположенных пикселей;

5. Определение яркости, контраста, корреляции и однородности по четырем схемам расположения для каждой матрицы;

6. Вычисление среднего значения для каждого свойства каждой матрицы A , H , V , D .

Метод оценки формы спектра основан на рассмотрении спектра эталонного изображения с спектром исследуемого изображения. При классификации данным методом в качестве входного изображения используется снимок внутренней поверхности трубы, а так же параметры эталонной поверхности. Сам метод делится на 2 этапа:

1. Вычисление спектра исследуемого объекта;

2. Определение взвешенного евклидова расстояния от полученного спектра до эталонного [4].

Основной недостаток рассмотренных методов заключается в необходимости предварительной подготовки эталонных тест объектов, что затрудняет, а в ряде случаев делает невозможным использование с магистральным трубопроводом по причине общей неоднородности и разнообразия трубопровода. Так же каждый метод требует дополнительный анализ результатов для получения информации о непосредственных проблемных местах. Описанный в данной статье алгоритм и способ проведения анализа нивелирует данные проблемы.

Для проведения оптической дефектоскопии производится съемка внутренней поверхности трубопровода широкоугольной камерой высокого разрешения – David SLS-3. Камера расположена в передней части самоходной роботизированной платформы. Видеопоток с камеры передается на компьютер оператора в реальном времени (рис. 1).



Рис. 1. Изображение внутренней поверхности трубы

Для выполнения обработки и анализа видеопотока он разбивается на кадры с частотой 20 кадров в секунду. Исходя из скорости передвижения самоходной роботизированной платформы, движущейся равномерно и прямолинейно, данная

частота является минимально необходимой, так как платформа движется с постоянной линейной скоростью 1 см в секунду, что позволяет захватывать повреждения в движениях размером до 0.5 мм. При необходимости захватывать дефекты меньшего размера необходимо увеличить частоту кадров.

Обработка и анализ регистрируемого видеопотока производится покадрово. После чего результаты обработки анализируют и объединяют для каждых 20 последовательных кадров. Такая последовательность операций позволяет выявить наиболее поврежденные участки, их ориентировочное расположение, размер, геометрическую форму и распределение цвета (рис. 2).

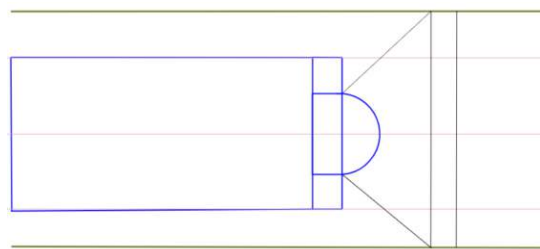


Рис. 2. Схема расположения объектива для получения панорамного кольцевого среза изображения

Для создания изображения поверхности трубы используется система из широкоугольной камеры и осветителя, закрепленных таким образом, чтобы кадры попадала вся труба. Далее выбирается часть кадра, находящаяся в фокусе по всему периметру трубы, которая представляет собой кольцо. Центром кольца является оптический центр объектива. В результате такой выборки получается кольцевая панорама трубы.

Далее производится обработка каждого отдельного кадра, которые имеют геометрические искажения. Геометрические искажения возникают за счет дисторсии [15].

В результате влияния дисторсии происходит искажение прямых линий на изображении с выгибанием их в виде «бочки», что свидетельствует об отрицательной дисторсии, уменьшающей расстояние от оптического центра. При этом часть изображения, совпадающего с плоскостью оптической оси, остается неискаженным [15].

Перед программной корректировкой изображения необходимо произвести аппаратную калибровку всей системы. Калибровка производится для каждого типа трубопровода в зависимости от внутреннего диаметра и типа поверхности. К процессу калибровки относится подстройка оптической системы с выбором фокусного расстояния, а также установка осветительного прибора.

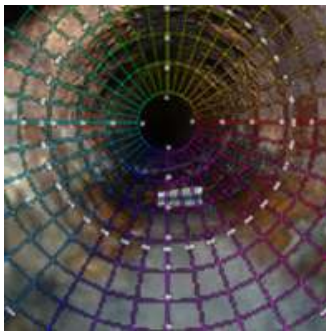


Рис. 3. Выделенная область стальной корродированной трубы

Корректировка дисторсии на кадрах производится путем переопределения координат точек контуров объектов на изображении с последующей аппроксимацией массивов переопределённых точек (рис. 3). Для устранения отрицательной дисторсии необходимо программно реализовать эффект положительной дисторсии. Для этого необходимо преобразовать координаты каждого пикселя видеоизображения. Таким образом возможно получить восстановление исходных (неискаженных) контуров изображений. Для определения искажения координат точек изображения предмета решается задача интерполяции, т.е. вычисления значений $\Delta x'$, $\Delta y'$ в точках, отличных от узловых точек сетки, но принадлежащих контуру изображения предмета. Координаты точек контура скорректированного изображения предмета определяются по формуле [15,16,17]:

$$\begin{aligned} x'_0 &= x' + \Delta x', \\ y'_0 &= y' + \Delta y'. \end{aligned} \quad (1)$$

С точки зрения программной обработки данное преобразование возможно выполнить следующим образом. Изображение можно представить в виде двумерного массива $H \times W$ или в виде одномерного массива длиной $H \cdot W$. В данном алгоритме изображение представлено в виде одномерного массива. Также обозначим через L_i^0 яркость каждого i -ого пикселя исходного изображения и через L_i^1 яркость соответствующего исходному пикселю пикселя обработанного изображения.

Реализация алгоритма коррекции осуществляется следующим образом. На первом шаге составляется корректировочная таблица адресов указателей в виде одномерного массива для каждого элемента исходного одномерного массива длиной $H \cdot W$ с номером $(x' + y' \cdot W)$, соответствующего пикселю с координатами (x', y') результирующего изображения. В корректировочный массив записывается смещение адресов пикселей исходного изображения. Данное смещение адреса вычисляется по формуле:

$$M_i + y' \cdot W = x'_0 + y'_0 \cdot W, \quad (2)$$

где x'_0, y'_0 - координаты пикселя, вычисленные по приведенным выше расчетным соотношениям (1), а

M_i является соответствующим пикселю элементом корректировочного массива.

На втором шаге алгоритма запускается цикл от 0 до $H \cdot W - 1$, в котором каждому пикселю присваивается его новое значение расположения в соответствии с составленной на первом шаге корректировочной таблицей.

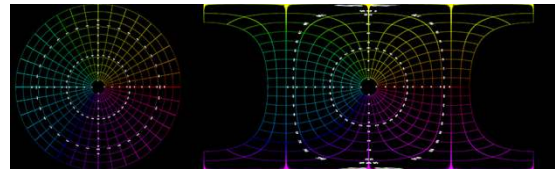


Рис. 4. Схема разложения изображения

После устранения геометрических искажений необходимо выполнить обработку изображения с целью подавления шумов, которые возникают из-за неидеальных условий освещения, из-за шума фотоприемника, из-за движения платформы (рис. 4). Все шумы на цифровом изображении возникают в процессе его получения, то есть оцифровки и передачи [18].

Подавление этих шумов производится для сегментов каждого кадра. Первоначальная обработка выполняется для каждого сегмента изображения размером 15×15 пикселей. Для улучшения качества изображения производится устранение ряби, белых точек, сепий и выравнивание цветовой температуры относительно 5 соседних участков изображения (не менее).

Для обработки участков изображений применены пространственные методы, суть которых заключается в выделении каждого отдельного значения пикселя (рис. 5). В общем виде процесс обработки можно описать уравнением:

$$g(x,y) = T[f(x,y)], \quad (3)$$

где $f(x,y)$ - входное изображение, $g(x,y)$ - обработанное изображение, а T - оператор над входным изображением [18].

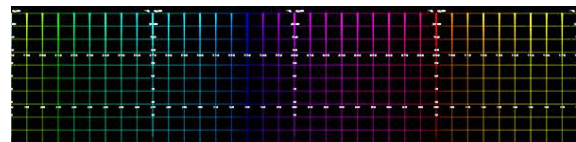


Рис. 5. Изображение, разбитое на сегменты

После того как изображение разбито на множество квадратных областей, осуществляется перемещение в этих областях попиксельно, начиная с верхнего левого угла. Преобразующий оператор выполняется в каждой точке области, давая выходной результат для каждой конкретной точки.

Фильтрация зашумленности каждого из выбранных участков производится путем усреднения изображений. Стандартное отклонение в каждой

точке усредненного изображения рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{\bar{g}(x,y)} = \frac{1}{\sqrt{K}} \sigma_{\eta(x,y)}, \quad (4)$$

где $\bar{g}(x,y)$ – усредненное изображение, $\bar{\eta}(x,y)$ – усредненный шум, а $\sigma_{\bar{g}(x,y)}$ и $\sigma_{\eta(x,y)}$ – дисперсии усредненного шума и изображения в точке (x,y) .

При увеличении K величина уровня шума в каждой точке уменьшается. Увеличивая коэффициент K , возможно устранить значительную часть шумов на изображении. На практике изображения могут быть получены в процессе накопления, чтобы уменьшить также влияние расфокусировки или других искажений на выходном изображении (рис. 6).

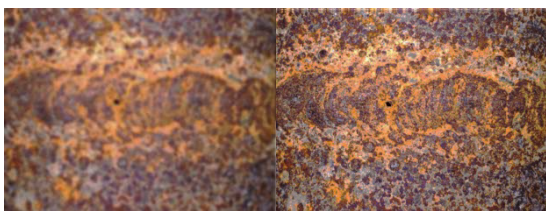


Рисунок 6 - Устранение расфокусировки изображение

На следующем шаге производится бинаризация изображения для выявления контуров затемненных участков. Так как цветные составляющие изображения смещены в одну область, необходимо произвести увеличение контрастности изображения (рис. 7). К изображению применяется точечная операция, которая преобразует малый диапазон шкалы яркости в диапазон полной контрастности при помощи операции $q' = 4q$ для $q < 64$ и $q' = 255$ для $q \geq 64$. Уровень яркости изображения остается при этом прежний [19,20].

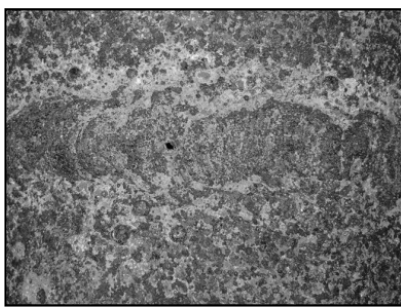


Рис. 7. Градации серого на изображении с видимым повреждением

После бинаризации изображения и увеличения его контрастности осуществляется выделение контуров затемненных областей на изображении. Затемненная область на изображении или «пятно» будет соответствовать месту на поверхности трубопровода, пораженному коррозией. При этом реальный дефект должен отражаться на всех 20 кадрах. Таким образом, пятна коррозии выделяются контуром. Контур – это последовательность смежных точек, очерчивающих определенную область. При выделении контура

точкой контура является точка, в окрестностях которой, а именно среди 8 точек, расположенных вокруг, имеются точки, не принадлежащие области внутри контура.

Для выделения контура используем метод «жука» или «алгоритм обхода контура» - отслеживающий алгоритм, который определяет объект и его контур [21,22].

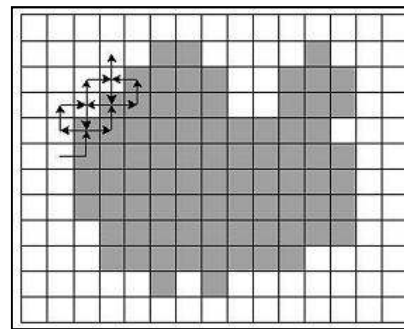


Рис. 8. Пример работы алгоритма обхода контура

Суть метода заключается в предположении о том, что точки, принадлежащие одному контуру, должны иметь близкие значения модуля и направления вектора градиента (рис. 8). Рассматривается окрестность точки $\langle i,j \rangle$ размером $M \times M$ (обычно используют окрестность 3×3), и в каждой точке $\langle k,l \rangle$ окрестности проверяются следующие условия:

$$\begin{aligned} |G_{i,j} - G_{k,l}| &\leq \Delta G, \\ |a_{i,j} - a_{k,l}| &\leq \Delta a, \end{aligned} \quad (5)$$

где $\langle i,j \rangle$ - центральная точка окрестности; G - модуль градиента; a - направление градиента в точке; ΔG - предельное значение расхождения модулей градиента в точках $\langle i,j \rangle$ и $\langle k,l \rangle$; Δa - предельное значение расхождения направлений векторов градиента в точках $\langle i,j \rangle$ и $\langle k,l \rangle$.

Если в точке $\langle k,l \rangle$ выполняются описанные выше условия, то считается, что пара точек принадлежит одному контуру. Для упрощения вычисления направления края весь диапазон возможных значений $0 \dots 360^\circ$ разбивается на 8 направлений (секторов). Каждое направление отличается от соседнего на 45° . При этом поиск точек, принадлежащих одному контуру, следует проводить среди точек соседних секторов, имеющих расхождения значений градиентов меньше заданного порога. Результатом выполнения процедуры прослеживания является дискретное представление контуров, при котором каждый контур определяется множеством точек, из которых он состоит (рис. 9).

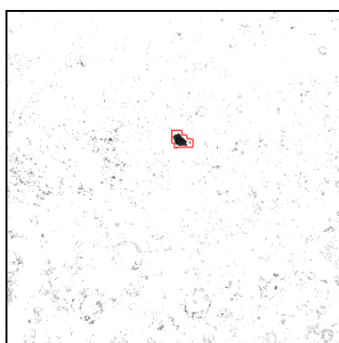


Рис. 9. Выделение контуров на изображении

После выделения контура происходит построение прямоугольной области по крайним точкам выделенного контура. По данной области происходит обрезание участка на исходном изображении в соответствии с координатами области на обработанном изображении с выделенным контуром. Таким образом из одного кадра можно получить от одного и более фрагментов изображения с затемненной областью, которая предположительно поражена коррозией.

Вырезание необходимого участка изображения происходит с использованием арифметико-логических операций. Арифметико-логические операции производятся над двумя изображениями – исходным изображением и прямоугольным участком, построенным по крайним точкам контура, при помощи операций AND и OR, которые используются для выделения части изображения или маскирования. Данная операция производится для отделения интересующей нас области от остальных областей изображения [17].

Для данных прямоугольных фрагментов изображения строятся гистограммы распределения цветов. Первой гистограммой является распределение цветовых RGB составляющих на изображении. Анализ данной гистограммы показывает распределение участков темного цвета, а также степень затемнения конкретного участка. Увеличение пиков гистограммы всех цветовых составляющих для каждого пикселя означает темный участок большого размера. Пиковые значения в середине могут означать точечное глубокое поражение на поверхности. Равномерное распределение в нижней области свидетельствует о равномерном коррозионном пятне (рис. 10).

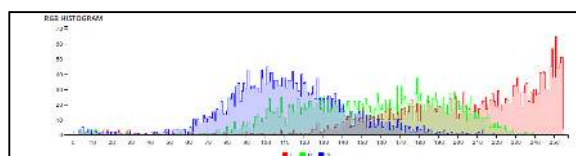


Рис. 10. Гистограмма цветового распределения

Далее выполняется анализ формы пораженной области и ее размера. Полученные данные позволят более точно судить о типе коррозионного повреждения и его степени, в то время как цветовые составляющие сообщают о степени и глубине.

Кроме того, гистограмма распределения цветов для полного изображения, а не только для его фрагмента, дает информацию о степени поражения участка трубопровода в целом, а по смещению цветов в ту или иную область гистограммы распределения цвета на изображении дает информацию об общем износе участка трубопровода.

Для апробации разработанного алгоритма было проведено испытания на металлическом магистральном водопроводе диаметром 250мм соответствующим ГОСТ (3262-75). Было выбрано 10 участков длиной 1м каждый для анализа с целью поиска и выделения повреждений. Без использования предварительной подготовки и настройки точности сканирования удалось выявить повреждения на 8 участках.

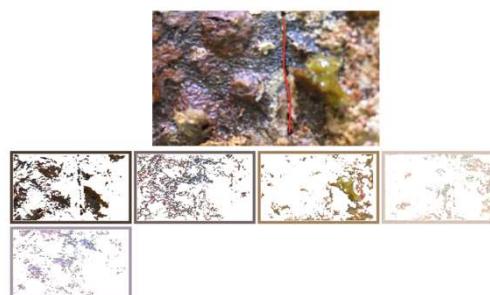


Рис. 11. Фрагмент найденного повреждения с выделенным контуром

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный алгоритм обработки и анализа изображений может быть применен к поиску дефектов на изображении внутренней поверхности трубопровода, пораженной коррозией. Алгоритм способен выделить координаты дефекта, а на основе размеров, яркости и цветности определить степень поражения. Алгоритм является дополнительным инструментом в анализе внутренней корродированной поверхности трубы. Он дает возможность оператору заострить свое внимание на ее проблемных участках.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Косыгин А.Б., Ханин В.Н., Государев К.И., Фомина И.В. Обнаружение скрытых утечек с использованием системы мониторинга водопроводной сети // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. - №4. – С.22-26.
2. Косыгин А.Б., Фомина И.В., Горицкий В.М., Хромов Д.П. Методика оценки технического состояния и остаточного ресурса трубопроводов водопроводной и канализационной сетей г. Москвы // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. - №3. – С.31-36.
3. Баранов С.В., Косыгин А.Б., Ханин В.Н., Корабельников Т.В., Фомина И.В. Инструментальный контроль за строительством водопроводных и канализационных сетей Москвы. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. - №10. – С.42-48.

4. Цапаев, А.П. Методы и алгоритмы распознавания изображений для обнаружения дефектов внутренней поверхности труб с целью автоматизации визуального контроля / О.В. Кретинин, А.П. Цапаев // Автоматизация в промышленности. – 2013. – №5. – С. 48–50.
5. Ganiyu, S.A., Olurin, O.T., Ajibodu, K.A., Badmus, B.S., Ajayi, A.O. Assessment of the degree of external corrosion of buried water pipelines and source identification of heavy metals due to surrounding soil conditions in humid environment (2018) *Environmental Earth Sciences*, 77 (12), article № 443.
6. Матвиенко А.Ф., Корзунин Г.С., Лоскутов В.Е.Л., Бабкин С.А. Опыт контроля состояния труб магистральных газопроводов электромагнитно-акустическим методом // Дефектоскопия. – 2015. - №9. – С.28-37.
7. Jianwen, Z., Aiguo, J., Yanan, X., Jianyun, H. Numerical Investigation on Multiphase Erosion-Corrosion Problem of Steel of Apparatus at a Well Outlet in Natural Gas Production (2018) *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, 140 (12), article № 121301.
8. Егоров И.Н., Кадхим Д.А. Применение мобильных роботов при внутритрубной диагностике трубопроводов с переменным поперечным сечением // Электронный журнал «Нефтегазовое дело». – 2011. - №3. – С.73-83.
9. Utanohara, Y., Murase, M. Influence of flow velocity and temperature on flow accelerated corrosion rate at an elbow pipe (2019) *Nuclear Engineering and Design*, 342, pp. 20-28.
10. Si, X., Zhang, R., Xu, Q., Zhou, K. Effects of local velocity components on flow-accelerated corrosion at 90° elbow (2019) *Materials Research Express*, 6 (1), article № 016557.
11. Яхьяев Н.Ш., Камолов А.К. Лабораторные методы измерения и приборы контроля коррозии // Молодой ученый. – 2016. - №12. – С.455-458.
12. Кондратенко В.С., Кобыш А.Н., Рогов А.Ю, Бурляй Д.А., Сакуненко Ю.И.: Способ повышения точности определения местоположения протечки воды с помощью сорбционного гидросенсорного кабеля // Контроль. Диагностика. – 2018. – №6. – С.51-55.
13. Коваленко А.Н. Системы определения местоположения дефектов на трубопроводе // Контроль. Диагностика. – 2016. - №2. – С.27-35.
14. Трутаев С.Ю., Иншаков Д.В. Внутритрубный контроль трубопроводов промышленных предприятий // Контроль. Диагностика. – 2017. - №12. – С.18-23.
15. Петин С. В., Сидоренко В. Г. Обзор методов дефектоскопии при обследовании трубопроводов // Молодой ученый. — 2016. — №2. — С. 194-199.
16. Гельман, Р.Н. Лабораторная калибровка камер с большой дисторсией / Р.Н. Гельман, А.Л. Дунц // Геодезия и картография. – 2002. – № 7. – С. 23-31.
17. Жимбуева Л.Д. Метод определения суммарной дисторсии цифровых изображений. Компьютерная оптика, том 35, №3 2011, Восточно-Сибирский государственный технологический университет.
18. ГОСТ 20825-75. Объективы съёмочные. Методы измерений дисторсии. – Введ. 01.07.76. – М.: Издательство стандартов. – 12 с.
19. Гонсалес Р, Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Москва: Техносфера, 2005. – 1072 с.
20. Панин С.Д. Теория принятия решений и распознавание образов. Курс лекций. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017.
21. Яне Б. Цифровая обработка изображений. Москва: Техносфера, 2007. – 584с.
22. Потапов Н.Н. Методы выделения контуров на изображениях / Н.Н. Потапов, П.А. Тупиков // 8-я международная конференция Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии, 2007. — С. 105–108.
23. Логинов И. Д. Обработка и сегментация тепловизионных изображений // Молодой ученый. — 2017. — №13. — С. 62-72.
- Умбетов Сергей Владимирович – аспирант, преподаватель кафедры информационных технологий ФГБОУ ВПО АлтГТУ г. Барнаул, тел. 8(961)9935148, e-mail: eva_09@inbox.ru.*
- Пронин Сергей Петрович - доктор технических наук, профессор кафедры информационных технологий ФГБОУ ВПО АлтГТУ г. Барнаул, e-mail: sppronin@mail.ru.*

ALGORITHM FOR PROCESSING IMAGES OF A CORRUPTED SURFACE OF A PIPELINE AND DETECT DETECTION

S.V. Umbetov, S.P. Pronin
Altai State Technical University, Barnaul

This paper presents an optical method for monitoring corrosion of the inner surface of a pipeline. Using a wide-angle lens to analyze the surface of the pipeline, optical distortions appear that affect the actual position of the defect and its size. An algorithm for eliminating geometric distortions and the process of analyzing metal corroded surfaces is presented. The developed algorithm is able to detect defects on the corroded surface of pipelines.

Index terms: corroded surface, optical image, distortion, correction algorithm, defect.

REFERENCES

1. Kosygin A.B., Khanin V.N., Gosudarev K.I., Fomina I.V. Detection of hidden leaks using a water supply network monitoring system // Water supply and sanitary equipment. - 2010. - No. 4. - S. 22-26.
2. Kosygin A. B., Fomina I. V., Goritsky V. M., Khromov D. P. Methodology for assessing the technical condition and residual life of pipelines of water supply and sewer networks in Moscow // Water supply and sanitary equipment. - 2010. - No. 3. - S. 31-36.
3. Baranov S.V., Kosygin A.B., Khanin V.N., Korabelnikov T.V., Fomina I.V. Instrumental control over the construction of water and sewer networks in Moscow. // Water supply and sanitary equipment. - 2011. - No. 10. - S. 42-48.
4. Tsapaev, A.P. Methods and algorithms for image recognition for detecting defects in the inner surface of pipes for the purpose of automating visual inspection / O.V. Kretinin, A.P. Tsapaev // Automation in industry. - 2013. - No. 5. - S. 48-50.
5. Matvienko A. F., Korzunin G. S., Loskutov V. E. L., Babkin S. A. The experience of monitoring the state of pipes of main gas pipelines by the electromagnetic-acoustic method // Defectoscopy. - 2015. - No. 9. - S. 28-37.
6. Jianwen, Z., Aiguo, J., Yanan, X., Jianyun, H. Numerical Investigation on Multiphase Erosion-Corrosion Problem of Steel of Apparatus at a Well Outlet in Natural Gas Production (2018) Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME, 140 (12), article No. 121301.
7. Egorov I.N., Kadhim D.A. The use of mobile robots in the in-line diagnostics of pipelines with a variable cross-section // Electronic journal "Oil and Gas Business". - 2011. - No. 3. - S. 73-83.
8. Utanohara, Y., Murase, M. Influence of flow velocity and temperature on flow accelerated corrosion rate at an elbow pipe (2019) Nuclear Engineering and Design, 342, pp. 20-28.
9. Si, X., Zhang, R., Xu, Q., Zhou, K. Effects of local velocity components on flow-accelerated corrosion at 90 ° elbow (2019) Materials Research Express, 6 (1), article No. 016557.
10. Yahyaev N.Sh., Kamolov A.K. Laboratory measurement methods and corrosion control instruments // Young scientist. - 2016. - No. 12. - S. 455-458.
11. Kondratenko V.S., Kobyshev A.N., Rogov A.Yu., Burlyai D.A., Sakunenko Yu.I.: A way to improve the accuracy of determining the location of a water leak using a sorption hydrosensor cable // Control. Diagnostics. - 2018. - No. 6. - S. 51-55.
12. Kovalenko A.N. Systems for determining the location of defects in a pipeline // Control. Diagnostics. - 2016. - No. 2. - S. 27-35.
13. Trutaev S.Yu., Inshakov D.V. In-pipe inspection of pipelines of industrial enterprises // Control. Diagnostics. - 2017. - No. 12. - S.18-23.
14. Petinov S. V., Sidorenko V. G. Review of flaw detection methods for pipeline inspection // Young scientist. - 2016. - No. 2. - S. 194-199.
15. Gelman, R.N. Laboratory calibration of cameras with large distortion / R.N. Gelman, A.L. Duntz // Geodesy and Cartography. - 2002. - No. 7. - S. 23-31.
16. Zhimbuva L.D. Method for determining the total distortion of digital images. Computer Optics, Volume 35, No 3 2011, East Siberian State Technological University.
17. GOST 20825-75. Lenses are shooting. Methods of measuring distortion. - Enter. 07/01/76. - M.: Publishing house of standards. - 12 p.
18. Gonzalez R, Woods R. Digital image processing. Moscow: Technosphere, 2005. -- 1072 p.
19. Panin S.D. Decision theory and pattern recognition. Lecture course. - Moscow: Publishing House of MSTU. N.E. Bauman, 2017.
20. Jane B. Digital image processing. Moscow: Technosphere, 2007. -- 584 p.
21. Potapov N.N. Methods for selecting contours in images / N.N. Potapov, P.A. Tupikov // 8th International Conference Image Designation and Image Analysis: New Information Technologies, 2007. - P. 105-108.
22. Loginov I. D. Processing and segmentation of thermal imaging // Young scientist. - 2017. - No. 13. - S. 62-72.

Umbetov Sergey Vladimirovich - postgraduate student, lecturer at the Department of Information Technologies Altai State Technical University, Barnaul, tel. 8 (961) 9935148, e-mail: eva_09@inbox.ru.

Pronin Sergey Petrovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Information Technologies Altai State Technical University, Barnaul, e-mail: sppronin@mail.ru.