

## Заключение

Система диагностики, построенная на оборудовании National Instruments, в частности, с использованием модульных приборов NI PXI, позволяет производить широкий спектр действий – от сбора данных, их обработки до выдачи итогового результата о состоянии диагностируемого объекта.

Кроме того, на базе среды программирования LabVIEW создан виртуальный прибор системы комплексной диагностики подшипника качения с «дружелюбным» пользовательским интерфейсом, с максимумом возможностей как для оператора, производящего сам процесс диагностики, так и для эксперта (наладчика), осуществляющего поддержку, настройку и проверку системы.

Разработанная система обладает достаточно высокой гибкостью и реконфигурируемостью. Ее можно легко перенастроить под диагностику другого оборудования. Выбранное аппаратное обеспечение позволяет значительно увеличить количество датчиков диагностических параметров, что дает возможность получать информацию со всех узлов электромеханической системы. Это важно, если мы имеем дело с «большими» техническими системами и особо ответственными машинами.

## Библиографические ссылки

1. Степанов П. И. Разработка модели системы комплексной диагностики электромеханического привода // Инновационные технологии и экономика в машиностроении : сб. тр. III Междунар. науч.-практ. конф. с элементами науч. шк. для молодых ученых : в 2 т. / Юрг. технол. ин-т. – Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2012. – Т. 1. – С. 341–344.
2. Вибродиагностика, триботехника, вибрации и шум : монограф. сб. материалов семинара 7-й Междунар. науч.-техн. конф. «Социально-экономические и экологические проблемы лесного хозяйства» / Урал. гос. лесотехн. ун-т ; под ред. А. А. Санникова и Н. В. Куцубиной. – Екатеринбург, 2009. – 416 с.
3. Никитин Ю. Р., Абрамов И. В. Информационные процессы в устройствах диагностирования мехатронных систем // Интеллектуал. системы в пр-ве. – 2011. – № 1. – С. 206–215.
4. Никитин Ю. Р., Абрамов И. В. Диагностирование мехатронных систем : учеб. пособие. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2011. – 116 с.
5. Никитин Ю. Р., Абрамов И. В. О построении системы диагностирования станков с ЧПУ // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – № 4. – С. 32–35.
6. Санников А. А., Куцубина Н. В. Техническая диагностика машин и оборудования // Подготовка кадров и эффективность производства. Предприятие – ВУЗ. Опыт многолетнего сотрудничества : монограф. сб. / М-во образования и науки РФ, Урал. гос. лесотехн. ун-т ; [под ред. А. А. Санникова, Н. В. Куцубиной, Л. В. Фисюк]. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2013. – С. 263–280.
7. National Instruments Россия, СНГ и Балтия. – URL: <http://russia.ni.com/> (дата обращения: 25.10.2013).

\* \* \*

P. I. Stepanov, Post-graduate, Senior Lecturer, Novouralsk Institute of Technology – branch of the State educational institution of higher professional education "National Research Nuclear University "MEPhI"

S. V. Lagutkin, PhD in Engineering, Associate Professor, Novouralsk Institute of Technology – branch of the State educational institution of higher professional education "National Research Nuclear University "MEPhI"

Yu. R. Nikitin, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

### Integrated current and vibration diagnostics of electromechanical systems

*The paper covers the diagnostics of an electromechanical system. This system includes vibration diagnostics and analysis of the consumed current of the driven electric motor. Hardware and software diagnostic complex is developed using the National Instruments equipment. The algorithm of the diagnostic system operation is given. Experimental results on determining the technical state of the electromechanical system are presented.*

**Keywords:** current diagnostics, vibration analysis, electromechanical system

Получено: 29.10.13

УДК 681.518.3

R. O. Султанов, ведущий инженер-программист;

M. B. Данилов, кандидат технических наук, доцент, докторант

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

### АЛГОРИТМЫ УСТРАНЕНИЯ ПОМЕХ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СКАН-ОБРАЗОВ КАРОТАЖНЫХ КРИВЫХ

*Описаны алгоритмы, предназначенные для обработки скан-образов каротажных кривых с целью устранения помех. Программная реализация алгоритмов может применяться как компонент интеллектуальных информационных систем, а также как отдельный инструмент для обработки скан-образов каротажных кривых с целью устранения помех сканирования. Определены критерии выделения помех, математический аппарат и алгоритмы коррекции изображения на скан-образе. Приведен пример работы алгоритма коррекции на тестовом образце каротажной диаграммы.*

**Ключевые слова:** каротажная диаграмма, скан-образ, коррекция сканирования

### Математическая модель поворота скан-образа

Рассмотрим задачу поворота изображения размёром  $n \times m$  точек (пикселов) на угол  $\delta$ . Пусть имеется матрица скан-образа  $S = \{s_{ij}\}$ , где  $I = 1..n, j = 1..m$  (рис. 1). Элементы матрицы  $s$  задают цвет (интенсивность) отдельного пикселя. Стоит задача формирования скорректированной матрицы изображения  $S' = \{s'_{ij}\}$ .



Рис. 1. Матрица скан-образа  $S$

Рассмотрим задачу поворота точки на угол  $\delta$  относительно начала координат (рис. 2). Начало координат примем в точке  $S[1;1]$ . Преобразование поворота имеет следующий вид [1]:

$$x' = x \cdot \cos(\delta) - y \cdot \sin(\delta), \quad y' = x \cdot \sin(\delta) + y \cdot \cos(\delta). \quad (1)$$

В матричной форме преобразование (1) можно записать:

$$S' = S \cdot R, \quad (2)$$

где  $R$  — матрица поворота имеет следующий вид:

$$R = \begin{pmatrix} \cos(\delta) & \sin(\delta) \\ -\sin(\delta) & \cos(\delta) \end{pmatrix}.$$

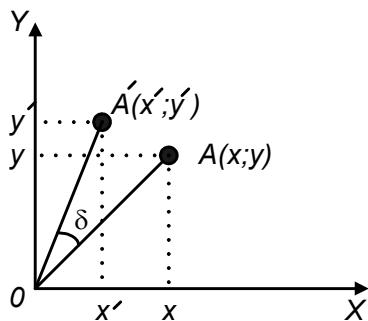


Рис. 2. Поворот точки на угол  $\delta$

Столбцы и строки матрицы поворота представляют собой взаимно ортогональные единичные векторы.

При повороте растровых изображений на угол, не кратный  $\pi/2$ , возникает ряд проблем, связанных с дискретным характером изображения. Существуют два подхода к задаче поворота изображения [1, 2]:

1. Сканируются строки исходной картины, при этом вычисляются новые значения координат пиксе-

лов для результирующей картины. Ясно, что отсутствие дырок на результирующем изображении может быть обеспечено только при использовании вещественной арифметики, кроме этого, возможно повторное занесение пикселов.

2. Сканируются строки результирующей картины и по координатам очередного пикселя определяются координаты пикселя из исходного изображения. Этот подход гарантирует отсутствие «дырок», кроме того, исключает повторное занесение пикселов.

В качестве основы для решения задачи поворота примем второй подход. В этом случае необходимо рассчитать координаты исходной точки  $(x; y)$  по имеющимся координатам  $(x'; y')$ . Формула (1) преобразуется в следующий вид:

$$x = x' \cdot \cos(\delta) + y' \cdot \sin(\delta), \quad y = -x' \cdot \sin(\delta) + y' \cdot \cos(\delta). \quad (3)$$

В матричной форме преобразование (1) можно записать:

$$S = S' \cdot R', \quad (4)$$

где  $R'$  — матрица поворота имеет следующий вид:

$$R' = \begin{pmatrix} \cos(\delta) & -\sin(\delta) \\ \sin(\delta) & \cos(\delta) \end{pmatrix}.$$

Поскольку мы имеем дело с растровым изображением и координаты точек  $(x'; y')$  принимают целочисленные значения, то координаты точек  $(x; y)$  также должны быть округлены до ближайшего целого:

$$x = \lceil x' \cdot \cos(\delta) + y' \cdot \sin(\delta) \rceil, \quad y = \lceil -x' \cdot \sin(\delta) + y' \cdot \cos(\delta) \rceil. \quad (5)$$

Далее рассмотрим вопрос выбора параметра  $n$  — длина обрабатываемого участка скан-образа (параметр  $m$  зависит от ширины области сканирования и принятого оптического разрешения). Длина не должна быть чрезвычайно малой, так как в этом случае придется проделывать большое количество ненужных вычислений. В то же время при выборе большого  $n$  будет высока вероятность ошибок, обусловленных нелинейным характером перекосов. Исходя из производственного опыта, а также в соответствии с расчетами, целесообразно принять  $n = 10..15\%$  от  $m$ . То есть при стандартной области сканирования 21 см, оптическом разрешении 100 дпі, параметры  $m = 827$  пикс.,  $n = 83..124$  пикс. Стоит заметить, что для корректного преобразования исходная матрица  $S$  должна быть большего размера, например  $2n \times m$ .

Поскольку единицей длины в расчетах служит пикセル, преобразуем формулы расчета угла перекоса  $\delta = \text{sign}(\Delta l) \arctg(\Delta l/h)$ ;  $\delta = (\delta^{\text{ПРАВ}} + \delta^{\text{ЛЕВ}})/2$  в следующий вид:

$$\delta = \text{sign}(\Delta l) \arctg(\Delta l/n), \quad (6)$$

где  $\Delta l = ((l_i^{\text{ПРАВ}} - l_{i+n}^{\text{ПРАВ}}) + (l_i^{\text{ЛЕВ}} - l_{i+n}^{\text{ЛЕВ}}))/2$ ;  $l_i$  — количество пикселов от края изображения абсолютно

черного цвета в матрице  $S$  по строке  $i$ . Поскольку мы формируем блок изображения  $n \times m$ , то справедливо представить  $\Delta l = \left( (l_1^{\text{ПРАВ}} - l_n^{\text{ПРАВ}}) + (l_1^{\text{ЛЕВ}} - l_n^{\text{ЛЕВ}}) \right) / 2$ .

Таким образом, скорректированная матрица изображения примет следующий вид:

$$S' = \{s'_{i;j}\}, s'_{i;j} = s_{[i \cdot \cos(\delta) + j \cdot \sin(\delta)]; [-i \cdot \sin(\delta) + j \cdot \cos(\delta)]}. \quad (7)$$

### Математическая модель масштабирования скан-образа

Далее рассмотрим задачу масштабирования изображения относительно начала координат. Масштабирование необходимо для коррекции продольных растяжений/скатий изображения, произошедших в процессе сканирования. Количественным выражением такого рода помех будет являться коэффициент растяжения  $K = d/d_{\text{СТ}}$ , где  $d_{\text{СТ}}$  – стандартное расстояние между линиями координатной сетки, пикселов.

Преобразование масштабирования относительно начала координат имеет следующий вид [3]:

$$x' = x \cdot K_x, y' = y \cdot K_y,$$

где  $K_x$ ,  $K_y$  – коэффициенты масштабирования по осям;  $K_x$  – коэффициент поперечного растяжения;  $K_y$  – коэффициент продольного растяжения.

В нашем случае  $K_x = 0$ ,  $K_y = K$ .

Стоит отметить, что в теории компьютерной обработки изображений [4] принято различать два типа масштабирования:

- целочисленное, коэффициент масштабирования – целое число;
- произвольное, коэффициент масштабирования – нецелое число.

Наиболее просто реализуется целочисленное масштабирование. При увеличении в  $K$  раз каждый пикセル в строке дублируется  $K$  раз и полученная строка дублируется  $K$  раз. При уменьшении в  $K$  раз из каждой группы в  $K$  строк выбирается одна строка и в ней из каждой группы в  $K$  пикселов берется один пикセル в качестве результата. Нецелочисленное масштабирование требует нерегулярного дублирования при увеличении и выбрасывания при уменьшении. Для отсутствия «дырок» в результирующем изображении при любых преобразованиях растровых картин следует для очередного пикселя результирующего изображения определить соответствующий (соответствующие) пиксели исходного изображения, вычислить значение пикселя и занести его.

Таким образом, для каждого двух строк  $i$  и  $i + d$  матрицы  $S'$  (7) рассчитывается коэффициент растяжения  $K$  и формируется матрица  $S''$ :

$$S'' = \{s''_{i;j}\}, s''_{i;j} = s'_{[i \cdot K];j}, \quad (8)$$

где  $j = 1..m$ ;  $i = 1..[d \cdot K]$ . В ходе масштабирования изменяется вертикальный размер результирующей матрицы  $S''$ .

Отдельно стоит рассмотреть задачу распознавания контрольных линий координатной сетки на скан-образе. Прежде всего отметим, что сама линия имеет ширину (не обязательно в один пиксель). Также усложняет задачу низкое качество координатных линий, наличие разрывов и пр.

Признаком наличия линии в  $j$ -й строке матрицы скан-образа  $S$  (рис. 1) будем считать выполнение следующего условия [3]:

$$\left( \sum_{i=1}^n c_{ij} > q \right) \cap \left( \sum_{i=1}^n c_{ij} + \sum_{i=1}^n c_{i+1;j} > 2 \cdot q \right), \quad (9)$$

$$c_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если } s_{ij} = s_{\text{ФОН}} \\ 1, & \text{если } s_{ij} \neq s_{\text{ФОН}}, \end{cases}$$

где  $q$  – экспериментально подобранный параметр,  $q = (0,8 \div 0,9)L$ ;  $L$  – ширина скан-образа, пикселов;  $s_{\text{ФОН}}$  – цвет фона изображения, преобладающее значение в матрице  $S$ . Условие (9) учитывает толщину координатной линии, так как суммируются значения по строкам  $j$  и  $j+1$ .

### Описание алгоритмов коррекции скан-образа

В обработке скан-образа каротажной диаграммы можно выделить три основных этапа:

**Этап 1.** Устранение помех, вызванных перекосами бумажного носителя при сканировании:

- выделение участка скан-образа;
- расчет угла перекоса для выделенного участка;
- коррекция (поворот) выделенного участка.

**Этап 2.** Устранение помех, вызванных продольными деформациями носителя:

- распознавание контрольных линий на выделенном участке скан-образа;
- распознавание контрольных линий на выделенном участке скан-образа;
- коррекция (масштабирование) выделенного участка.

**Этап 3.** Подготовка скан-образа для последующей обработки:

- удаление неинформативных фрагментов скан-образа (поля и пр.);
- регулировка яркости/контрастности, цветовой гаммы скан-образа;
- экспорт в формат PSF (для последующей обработки в NordSoft ScanDigit).

Данные этапы соответствуют трем программным модулям комплекса для обработки скан-образов каротажных диаграмм:

1. Устранение помех, вызванных перекосами бумажного носителя при сканировании, являющихся случайным процессом с поперечными колебаниями. На данном этапе изображение делится на блоки, рассчитывается угол и направление перекоса для каждого блока, производится коррекция за счет поворотов изображения на рассчитанный угол.

2. Устранение помех, вызванных продольными деформациями (растяжением, сжатием) бумажного носителя. На данном этапе последовательно распознаются горизонтальные (перпендикулярные краю бумажной ленты) линии координатной сетки. Для двух выбранных соседних линий рассчитывается коэффициент растяжения, после чего блок изображения, ограниченный данными линиями, масштабируется (сжимается или растягивается) в соответствии с полученным коэффициентом.

3. Подготовка скан-образа для дальнейшей обработки. На данном этапе необходимо в первую очередь удалить со скан-образа участки, не несущие полезной информации (поля и пр.). Данную операцию целесообразно производить в интерактивном режиме. Далее необходимо дать пользователю скорректировать яркость, контрастность, цветовую гамму скан-образа с целью получения максимальной четкости изображения. Данная операция может быть опущена, если программное обеспечение сканера позволяет задавать указанные параметры изображения. В завершение работы необходимо экспорттировать скорректированное изображение в формат, позволяющий вести его дальнейшую обработку. При использовании в качестве инструмента оцифровки пакета программ ООО НТП «НОРД СОФТ» (Московская обл., г. Дубна), таким форматом может быть формат PSF, используемый программами Scan Digit, Digit Control.

В соответствии с математической моделью коррекции перекосов предлагается следующий алгоритм [5, 6]:

1. Формируется цикл  $k = 1..N$  с шагом  $n$ , где  $N$  – длина скан-образа в пикселях.

2. Расчет смещения (6) для участка скан-образа  $k \div (k + n)$ .

3. Расчет угла перекоса  $\delta$  (6).

4. Для  $i' = 1..m$ ,  $j' = k..k + n - 1$  заполняется матрица  $S'[i'; j'] = S[i; j]$ , где  $i, j$  рассчитываются по формуле (7).

5. Матрица  $S'$  записывается в выходной файл построчно, начиная со строки  $k$ .

6. Пункты 2–4 выполняются для следующего  $k$ .

7. Конец алгоритма.

Аналогично, в соответствии с математической моделью коррекции продольных деформаций, предлагается следующий алгоритм [5, 6]:

1.  $k=1$ .

2. Если  $k$ -я строка матрицы  $S'$  содержит контрольную линию (9), то переход к пункту 4.

3. Увеличить  $k$  на 1, переход к пункту 2.

4.  $l = k + 1$ ;  $t = 1$  (параметр  $T$  – количество «пропускаемых» соседних линий).

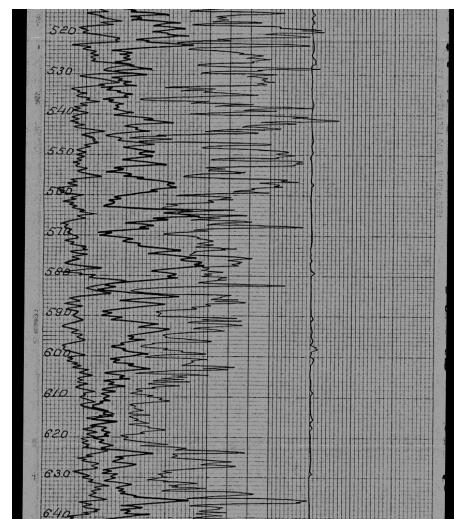
5. Если  $l=N$ , то переход к пункту 10.

6. Если  $l$ -я строка матрицы  $S'$  содержит контрольную линию (9), то переход к пункту 8.

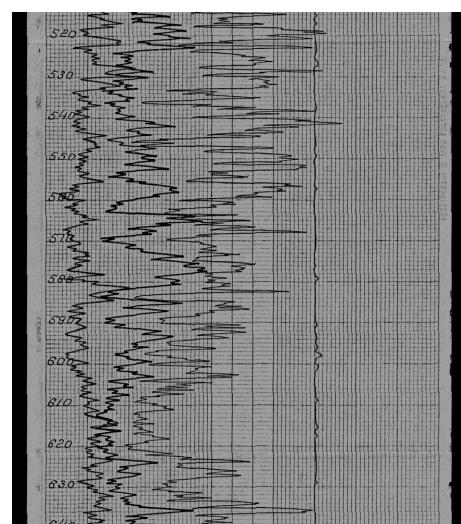
7. Увеличить  $l$  на 1, переход к пункту 6.

8. Если  $t=T$ , то переход к пункту 10.

9. Увеличить  $l$  на 1, увеличить  $t$  на 1, переход к пункту 6.



a



б

Рис. 4. Фрагмент скан-образа до (а) и после (б) обработки

10. Расчет коэффициента растяжения  $K$ .

11. Для  $i' = 1..m$ ,  $j' = k..l - 1$  заполняется матрица  $S''[i'; j'] = S'[i; j]$  (8).

12. Матрица  $S''$  записывается в выходной файл построчно, начиная со строки  $k$ .

13.  $k=l$ . Если  $l > N$ , то переход к пункту 4.

14. Конец алгоритма.

На рис. 4, б приведены результаты обработки скан-образа каротажной диаграммы со скважиной 13295 каширско-подольского объекта Вятской площади (рис. 4, а). В результате обработки устранен имевшийся перекос, изображение выравнено по линиям координатной сетки.

Таким образом, программный комплекс с разработанными алгоритмами позволяет осуществлять обработку скан-образов каротажных диаграмм, в частности коррекцию отсканированных изображений с целью устранения дефектов, вызванных перекосами и деформацией бумажной ленты.

## **Библиографические ссылки**



*R. O. Sultanov*, Senior programming engineer, Kalashnikov Izhevsk State Technical University  
*M. V. Danilov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Algorithms of eliminating the interference when the generating the scanned images of log curves

The paper describes the algorithms for processing the scan images of logs in order to eliminate interference. Software implementation of the algorithms can be used as a component of intelligent information systems, as well as a separate tool for processing scanned images of logs to eliminate the scanning noise. The criteria of noise extraction, mathematical tools and algorithms for image correction to scan the image are determined. An example of the correction algorithm operation for a test sample of log graph is given.

**Keywords:** log graph, scan image, scanning correction

Получено: 14.11.13

УДК 623.544:681.78

Ю. К. Шелковников, доктор технических наук, профессор  
Институт механики Уральского отделения РАН

# СКАНИСТОРНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА С АДАПТИВНЫМ РЕЖИМОМ СКАНИРОВАНИЯ

*Рассмотрены вопросы построения структуры высокоточных адаптивных информационно-измерительных систем на основе телевизионного скантера. Показано, что такие адаптивные системы обладают более высокими метрологическими характеристиками и позволяют поддерживать заданную точность измерения координат световых потоков в изменяющихся условиях эксплуатации. Описана быстродействующая система с адаптивным режимом сканирования на основе локального опроса, при котором за счет уменьшения избыточности полного опроса эффективно сжимается во времени процесс получения видеинформации со скантера.*

**Ключевые слова:** телевизионный сканистор, адаптивная система, световая зона, видеосигнал

Для информационно-измерительных систем на основе телевизионного сканистора характерны простота реализаций при сравнительной сложности решаемых задач, высокие метрологические характеристики, компактность, прочность, большой срок службы, высокая чувствительность, возможность осуществления дистанционных измерений и их полной автоматизации, способность непрерывной регистрации как медленных, так и быстрых процессов и т. д. [1]. Сканисторные информационно-измерительные системы (СИИС) двойного применения [2] используются в различных отраслях промышленности [2–4] и в военной технике [5–7] для измерения угловых и линейных перемещений, скоростей, ускорений, размеров и взаимного положения объектов, позволяют осуществлять контроль, управление и автоматизацию многих технологических процессов. Современные СИИС должны сохранять высокую

точность измерений координат движущихся световых потоков в широком температурном диапазоне, при различных световых и электромагнитных помехах, при временной и температурной нестабильности составляющих СИИС элементов, при нестабильности внутренних источников питания и напряжения в сети, при изменении излучательной способности источников света, отражательной способности контролируемых объектов и при воздействии других дестабилизирующих факторов. В этих условиях высокоточное измерение координат связано с адаптивным приемом сигналов. Принцип адаптации основан на формировании оценок видеосигнала со сканистора и использовании этих оценок при регулировании параметров СИИС. Необходимость адаптации параметров СИИС возникает из-за априорной неопределенности о параметрах световой зоны и дестабилизирующих факторов, а также из-за ограничения