

Алгоритмическое обеспечение автоматического контроля геометрических параметров стальных канатов в лифтовых системах

Р.М. Синецкий, М.М. Гавриков

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, Новочеркасск*

Аннотация: В работе рассматривается задача автоматического обнаружения дефектов геометрических параметров стальных канатов лифтовых систем с использованием методов компьютерного зрения. Анализируются особенности дефектоскопии движущихся стальных канатов на основе видеоряда, связанные с фрагментарностью изображения некоторых дефектов на смежных кадрах и изменчивостью видимых камерой геометрических размеров каната и характеристик дефекта вследствие колебаний каната во время движения. С учетом рассмотренных особенностей предложено два алгоритма – для определения дефекта утолщения/утонения диаметра каната и дефекта волнистости. В работе приводятся результаты экспериментальной апробации алгоритмов на специальном тестовом стенде и рассчитываются показатели надежности обнаружения дефектов предложенными алгоритмами в форме точности и полноты обнаружения каждого дефекта по отдельности, а также средних точности и полноты обнаружения обоих рассмотренных дефектов геометрических параметров каната в целом.

Ключевые слова: дефект стального каната, инструментальный контроль, бесконтактная дефектоскопия, компьютерное зрение.

Введение

Во многих отраслях производства, в транспорте и других сферах человеческой деятельности широко применяются машины и оборудование, использующие тягу стальных канатов: лифтовые системы, канатные дороги, подъемники и прочие (ГОСТ Р 3241-91 Канаты стальные. Технические условия. Москва, Стандартинформ, 1993). Важнейшим фактором обеспечения безопасности эксплуатации подобных систем и оборудования является техническое состояние стальных канатов, отсутствие у них механических, конструктивных и других дефектов (ГОСТ Р 55964-2014 Лифты. Общие требования безопасности при эксплуатации. Москва, Стандартинформ, 2014). Наиболее распространенными способами обнаружения дефектов стальных канатов являются визуальный и измерительный контроль (ВИК) (ГОСТ Р EN 13018-2014 Контроль визуальный. Общие положения. Москва, Стандартинформ, 2015). В процессе

выполнения ВИК выявляются признаки наличия или отсутствия определенных типов дефектов каната и принимается решение о возможности или невозможности его дальнейшей эксплуатации [1, 2]. В работах [3] для решения задачи автоматизации ВИК предложено использовать технологию и поддерживающий ее программно-аппаратный комплекс (ПАК ВИК) [4]. В частности, были представлены отдельные проектные решения, рассмотрены подходы и алгоритмы обнаружения дефектов геометрических параметров каната двух типов: «волнистость» и «утолщение/утонение» диаметра каната. Испытания и опытная эксплуатация ПАК ВИК при проведении видеодефектоскопического контроля канатов лифтовых систем выявили ряд объективных и субъективных факторов, влияющих на качество (достоверность) результатов автоматического обнаружения дефектов этого типа. Такими факторами являются:

- колебания каната в горизонтальной плоскости при движении кабины лифта;
- фрагментация области дефекта по нескольким смежным кадрам видеоряда.

Следствием первого фактора является динамическое изменение величины расстояния от видеокамеры до каната, приводящее к динамическому изменению масштаба изображения каната в видеокадре. Это означает, что диаметр анализируемого участка каната, выражаемый в количестве пикселей (пиксельный диаметр) соответствующего изображения, может существенно изменяться от кадра к кадру вследствие указанного фактора, а не вследствие реального изменения диаметра, причем величина относительных пиксельных изменений диаметра в разных кадрах может составлять более 10%. Следовательно, алгоритмы обнаружения дефектов геометрии типа «утолщение/утонение» диаметра каната, основанные только

на контроле пиксельных значений диаметра в кадрах видеоряда, не позволят обнаруживать аномальные отклонения с достаточной достоверностью.

Фактор фрагментации области дефекта применительно к дефекту типа «волнистость» означает, что участок дефекта полностью не помещается в кадре, а распределяется по нескольким смежным кадрам. На рис. 1 приведены два кадра иллюстрирующие эффект фрагментации. На рис. 1, а в кадре помещается больший отрезок каната, и дефект волнистости заметен отчетливее, чем на рис. 1, б. Влияние этого фактора может быть уменьшено за счет установки камеры с коротким фокусным расстоянием [5].

Цель настоящей работы состоит в разработке алгоритмов обнаружения дефектов геометрических параметров стальных канатов, учитывающих ограничения, связанные с динамическим изменением масштаба изображения каната и фрагментацией области дефекта, апробации алгоритмов и оценке показателей их надежности в натуральных экспериментах.



а) пример «длинного» кадра



б) пример «короткого» кадра

Рис. 1. – Дефект волнистости на «длинных» и «коротких» кадрах

Алгоритм обнаружения дефектов диаметра каната

Реализуемый в алгоритме подход основан на следующих соображениях. Так как утолщения/утонения имеют место только на локальных (коротких) участках, можно считать, что на достаточно длинном фрагменте каната модуль среднестатистического относительного отклонения диаметра каната от среднего значения диаметра длинного фрагмента является величиной почти постоянной, независимо от того, в каком месте выбран длинный фрагмент. Следовательно, превышение относительного отклонения на локальном участке от среднестатистического относительного отклонения будет свидетельствовать об утолщении/утонении (в зависимости от знака величины отклонения) каната на этом участке. Таким образом суть подхода состоит в замене контролируемого параметра [3]: вместо контроля отклонений от номинального диаметра используется контроль относительных отклонений от нормального (среднестатистического) относительного отклонения. Поскольку в дефект может обнаруживаться в нескольких соседних кадрах видеоряда, в алгоритм вводится параметр l – длина области дефекта. Все дефекты, обнаруженные в соседних кадрах по длительности области, считаются одним дефектом.

Алгоритм А1. Определения дефекта диаметра каната

ВХОД: C_j^l, C_j^n – множества координат точек левого и правого краев каната в j – м кадре ($1 \leq j \leq N$), N – длина видеоряда; f – частота кадров камеры; v – средняя скорость движения лифта; l – длина области дефекта.

ВЫХОД: T, U – множества номеров кадров с дефектом утонения и утолщения соответственно.

НАЧАЛО

1. Для всех кадров видеоряда в каждом j – м кадре выполняем ($1 \leq j \leq N$):

а) кусочно-линейную аппроксимацию [6] краев C_j^n, C_j^n каната m отрезками;

б) между серединами противоположных отрезков находим расстояния d_j^k ;

в) вычисляем в пикселях среднее значение диаметра в кадре:

$$d_j^* = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m d_j^k;$$

г) относительное отклонение от среднего в k -м куске j -го кадра:

$$e_j^k = \frac{|d_j^k - d_j^*|}{d_j^*};$$

д) среднее относительное отклонение в j -м кадре:

$$e_j = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m e_j^k.$$

2. Находим среднее относительное отклонение по последовательности из N кадров и задаем допустимое (пороговое) отклонение в кадре по эмпирическому правилу «трех сигма»:

$$e_{\text{дон}} = \epsilon + 3\sigma, \quad \epsilon = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N e_j, \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\epsilon - e_j)^2}.$$

3. Вводим счетчики $i=0, l=0$ числа кадров с превышением порога с утолщением и утонением соответственно. Для всех кадров видеоряда в каждом j -м кадре ($1 \leq j \leq N$) выполняем проверку и фиксацию превышения порога с утолщением в массиве A , с утонением – в массиве B :

если $(e_j^k > e_{\text{дон}}) \wedge (d_j > d_j^*)$ то $i = i + 1, A(i) = j, K = i$;

если $(e_j^k > e_{\text{дон}}) \wedge (d_j < d_j^*)$ то $l = l + 1, B(l) = j, M = l$.

4. Определяем длину области в числе кадров:

$$n = \frac{f \cdot l}{v}.$$

5. Находим в массиве A (утолщений) последовательности индексов кадров, относящихся к области одного дефекта, и фиксируем в множестве U только один индекс (первый):

$$k = 1$$

$$U = U \cup \{A(1)\}$$

пока $i \leq K$ выполнить:

если $A(i) - A(k) > n$, то:

$$U = U \cup \{A(i)\}, k = i$$

$$i = i + 1$$

6. Аналогично находим индексы в массиве B (утонений) и фиксируем в множестве T :

$$k = 1$$

$$T = T \cup \{B(1)\}$$

пока $i \leq M$ выполнить:

если $B(i) - B(k) > n$, то:

$$T = T \cup \{B(i)\}, k = i$$

$$i = i + 1$$

КОНЕЦ

На рис. 2 приведен пример, иллюстрирующий результаты работы алгоритма обнаружения дефектов диаметра каната при обработке одного из видеорядов [7]. По оси X отложены номера кадров видеоряда, а по оси Y – значения относительных отклонений соответственно. Горизонтальной линией отмечено пороговое значение $e_{дон}$. В этом примере обнаружено 5 дефектов диаметра типа утолщение/ утонение.

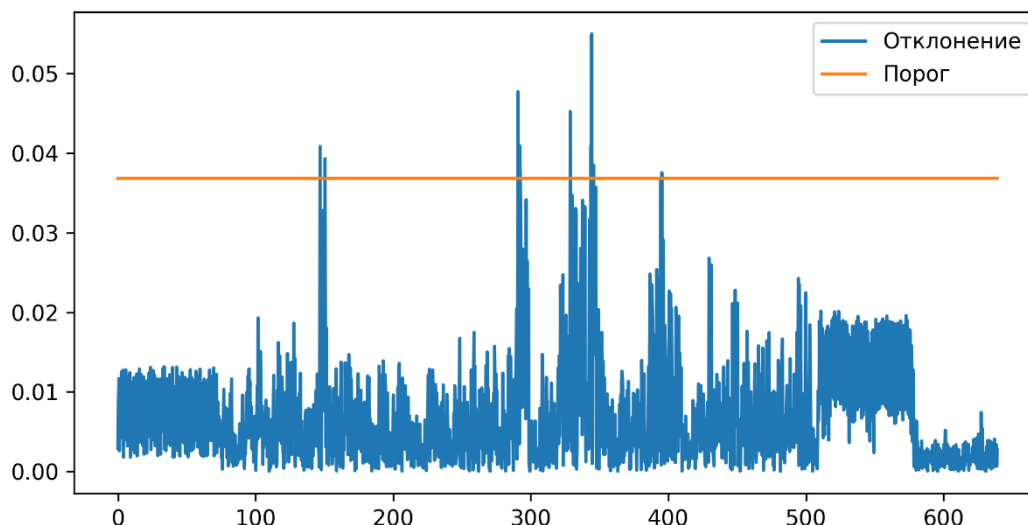


Рис. 2. – График среднего относительного отклонения в алгоритме A1

Алгоритм обнаружения дефектов типа «волнистость»

Применяемый подход основан на результатах видео-аналитики указывающих, что при фрагментации дефекта, в «коротких кадрах» могут фиксироваться начальная, средняя и конечная части волнообразного участка, либо комбинации их типов: начальная-средняя, средняя-конечная. В этих частях контуры краев каната могут удовлетворять следующим условиям:

- один контур края каната имеет выпуклость, направленную влево или вправо;
- другой контур может иметь выпуклость, направленную в ту же сторону.

Описание способа определения численного значения признака выпуклости контура каната (ПВК) в кадре приведено в формальном описании алгоритма. Так же, как и в случае с дефектом диаметра, деформация типа волнистости имеет место только на локальных участках, поэтому можно считать, что на большей части каната в отсутствии деформаций среднестатистическая величина ПВК теоретически должна стремиться к нулевому значению, а на практике не превышать некоторое

допустимое (пороговое) значение. Алгоритм определяет это пороговое значение и выполняет поиск кадров, где значение ПВК превышает порог, и выполняются приведенные выше условия направлений выпуклости на обоих краях каната.

Алгоритм А2. Определения дефекта волнистости каната

ВХОД: C_j^l, C_j^r – множества координат точек левого и правого краев каната в j -м кадре ($1 \leq j \leq N$); N – длина видеоряда.

ВЫХОД: V – множества номеров кадров с дефектом «волнистость».

НАЧАЛО

1. Для всех кадров видеоряда в каждом j -м кадре выполняем ($1 \leq j \leq N$):

- методом наименьших квадратов [6] строим кривые второго порядка (параболы), аппроксимирующие контуры краев каната $p_n^j(x), p_n^j(x)$;
- определяем расстояния между параболой в нескольких местах и вычисляем средний диаметр \hat{d}_j в пикселях.

2. Строим отрезки прямых $y_n^j(x), y_n^j(x)$, соединяющие концы парабол $p_n^j(x), p_n^j(x)$ соответственно. (Примечание: на рис. 3 показаны границы контура каната C_j^l, C_j^r , кривые $p_n^j(x), p_n^j(x)$ и отрезки $y_n^j(x), y_n^j(x)$ на примере одного кадра).

3. Определяем для левого края:

- максимальное отклонение r в пикселях параболы $p_n(x)$ от отрезка $y_n(x)$, r определяется как длина отрезка между двумя точками:

$$R_n^j = \max_x (r(p_n^j(x), y_n^j(x)))$$

- отношение (значение ПВК) $o_n^j = R_n^j / \hat{d}_j$

- признак направления изгиба $z_n^j \in \{0 - \text{вправо}, 1 - \text{влево}\}$

Аналогично определяем для правого края: o_n^j, z_n^j

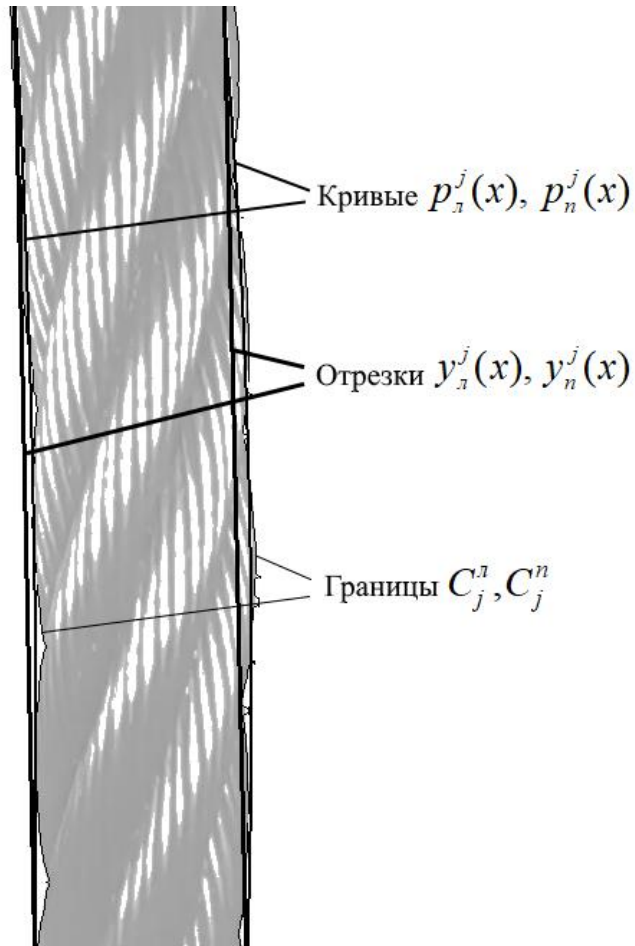


Рис. 3. – Кривые $p_l^j(x), p_n^j(x)$ и отрезки $y_l^j(x), y_n^j(x)$

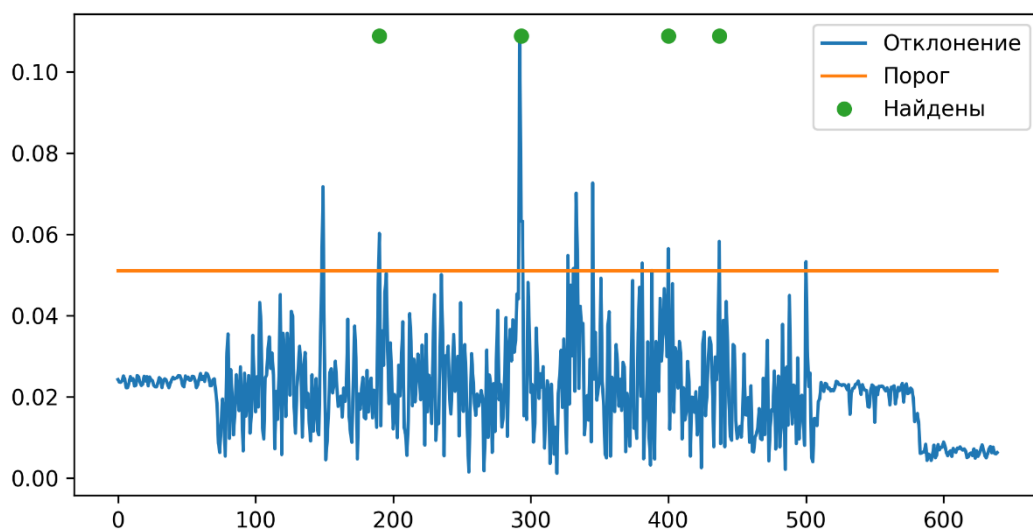


Рис. 4. – График численного значения ПВК

4. Вычисляем среднее значение отношения по любому из краев, например, по левому и задаем порог по эмпирическому правилу «три сигма»:

$$O = \hat{o} + 3\sigma, \quad \hat{o} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N o_n^j, \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\hat{o} - o_n^j)^2}.$$

5. Для всех кадров видеоряда в каждом j -м кадре ($1 \leq j \leq N$) выполняем сравнение значения ПВК с порогом и анализ направлений изгибов: левый край существенно выгнут вправо, а правый просто выгнут вправо (не выгнут влево), или правый край-существенно выгнут влево, а левый – просто выгнут влево). Если выполняется, фиксируем признак волнистости:

$$V = \{j \mid [(o_n^j > O) \wedge (z_n^j = 0) \wedge (z_n^j = 0)] \vee [(o_n^j > O) \wedge (z_n^j = 1) \wedge (z_n^j = 1)]\}.$$

КОНЕЦ

На рис. 4 приведен пример, иллюстрирующий результаты работы алгоритма обнаружения дефекта типа «волнистость» при обработке одного из видеорядов [7]. Значения на осях X , Y обозначают номера кадров и значения ПВК соответственно. Горизонтальной линией показано пороговое значения ПВК. Над пиковыми значениями ПВК круглыми маркерами отмечены места в последовательности кадров, в которых выполняются признаки наличия дефекта «волнистость» (шаг 5 алгоритма A2).

Результаты экспериментальной апробации и оценка показателей надежности алгоритмов

Представленные алгоритмы были реализованы с использованием языка программирования Python и библиотек OpenCV [8, 9] и NumPy [10].

Эксперименты проводились на испытательном стенде, максимально точно воспроизводящим условия получения видеозаписей движущегося каната в лифтовой установке. Фотографии стенда приведены на рис. 5.



Рис. 5. – Испытательный стенд

Целью эксперимента являлась апробация (тестирование) функциональности алгоритмов и оценка показателей надежности (достоверности) обнаружения дефектов. Стоит отметить, что одной из частых причин возникновения дефекта типа «волнистость» на стальном канате является чрезмерное натяжение одной из свивок каната [11], в результате чего одна или несколько других свивок могут ослабиться и вылезти. Это приводит к тому, что дефект волнистости сопровождается несколькими дефектами диаметра каната.

Список тестируемых показателей включал:

$AP(d)$ – средняя точность обнаружения дефектов диаметра типа «утолщение/утонение»;

$AR(d)$ – средняя «полнота» обнаружения дефектов диаметра типа «утолщение/утонение»;

$AP(v)$ – средняя точность обнаружения дефектов типа «волнистость»;

$AR(v)$ – средняя «полнота» обнаружения дефектов типа «волнистость».

mAP , mAR – средние значения точности и полноты по двум дефектам в предположении, что место дефекта определено хотя бы одним из алгоритмов.

В качестве экспериментальных данных использовались:

– видеоряды, полученные в результате реализации процедуры измерений(видео-фото-фиксации) одного из трех канатов длиной 5.3 метра, установленных на испытательном стенде, при «прогонах» каната вверх и вниз;

– список тестовых дефектов (СТД) на этом канате, содержащий описание параметров дефектов, изображения каната с дефектами геометрии и идентификаторы типов соответствующих дефектов: 1 – «утолщение/утонение диаметра», 2 – «волнистость». Канат содержал четыре дефекта типа 1 и три дефекта типа 2. При этом два из дефектов диаметра сопровождают два

различных дефекта типа «волнистость». Таким образом, всего канат содержит пять различных мест дефектов на своей длине: два места с дефектом диаметра, одно место с деформацией типа «волнистость» и два места с наличием в них дефектов обоих типов.

Список фактических результатов обнаружения дефектов (СФР-Д), сформированный модулем обнаружения дефектов геометрии, содержащий следующие параметры:

- а) тип дефекта;
- б) номера кадров, относящихся к области одного дефекта;
- в) изображение дефекта в кадре.

Эксперимент состоял из последовательного выполнения на испытательном стенде следующих этапов:

1) Многократных прогонов канатов вверх и вниз (17 прогонов), в процессе которых модуль видеорегистрации выполнял видеофиксацию области каната длиной 5-6 см, формирование и сохранение соответствующих видеофайлов;

2) Обработку каждого видеофайла модулем обнаружения дефектов геометрии каната и формирование СФР-Д;

3) Расчет показателей надежности, путем обработки СФР-Д.

Для оценки показателей надежности использовались следующие соотношения [12]:

1) P_i^j – точность обнаружения дефекта i -го типа (дефект диаметра – (д), или «волнистость» – (в)) в j -м эксперименте (с каждым экспериментом связывается один прогон каната вверх или вниз):

$$P_i^j = \frac{TP_i^j}{TP_i^j + FP_i^j}, \quad (1)$$

где TP_i^j – количество правильно идентифицированных дефектов i -го типа в j -м эксперименте, FP_i^j – количество ложно идентифицированных дефектов i -го типа в j -м эксперименте (ложной считалась идентификация дефектов в кадрах, не содержащихся в СТД).

2) AP_i – точность обнаружения дефекта i -го типа во всех экспериментах:

$$AP_i = \frac{TP_i}{TP_i + FP_i}, \quad (2)$$

где

$$TP_i = \sum_{j=1}^N TP_i^j, \quad FP_i = \sum_{j=1}^N FP_i^j.$$

3) R_i^j – полнота обнаружения дефектов i -го типа в j -м эксперименте:

$$R_i^j = \frac{TP_i^j}{TP_i^j + FN_i^j}, \quad (3)$$

где FN_i^j – количество пропусков (не обнаружений) дефектов i -го типа в j -м эксперименте.

4) AR_i – полнота обнаружения дефекта i -го типа во всех экспериментах:

$$AR_i = \frac{TP_i}{TP_i + FN_i}, \quad (4)$$

где

$$FN_i = \sum_{j=1}^N FN_i^j.$$

5) mAP – средняя точность обнаружения по всем дефектам:

$$mAP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N AP_i.$$

5) mAR – средняя полнота обнаружения по всем дефектам:

$$mAR = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N AR_i .$$

Оценки показателей точности и полноты в каждом эксперименте приведены в таблице 1. В таблице так же приведены значения TP , FP , FN , входящие в соотношения (1-4), используемые при вычислении оценок. Номера проходов в таблице имеют следующий смысл: 1 – канат движется вниз, 2 – канат движется вверх.

На рис. 6 показаны примеры кадров с обнаруженными дефектами в одном из экспериментальных прогонов. Рис. 6, а-в соответствуют кадрам с дефектом диаметра каната, а рис. 6, г-е кадрам с дефектом волнистости каната.

Таблица №1

Оценки показателей надежности обнаружения дефектов

Видео	Проход	Диаметр					Волнистость				
		TP	FP	FN	AP_d	AR_d	TP	FP	FN	AP_B	AR_B
1	1	4	1	0	0.80	1.00	3	1	0	0.75	1.00
3	2	4	0	0	1.00	1.00	2	2	1	0.50	0.67
4	1	4	1	0	0.80	1.00	3	2	0	0.60	1.00
	2	4	0	0	1.00	1.00	3	2	0	0.60	1.00
5	1	4	1	0	0.80	1.00	3	1	0	0.75	1.00
	2	4	0	0	1.00	1.00	3	2	0	0.67	1.00
6	1	4	1	0	0.80	1.00	3	2	0	0.60	1.00
	2	4	0	0	1.00	1.00	2	2	1	0.50	0.67
7	1	4	1	0	0.80	1.00	1	2	2	0.33	0.33
	2	3	0	1	1.00	0.75	1	2	2	0.33	0.33
8	1	4	1	0	0.80	1.00	1	1	2	0.50	0.33
	2	3	0	1	1.00	0.75	2	2	1	0.50	0.67
9	2	2	0	0	1.00	1.00	2	1	0	0.67	1.00
	1	1	0	0	1.00	1.00	2	0	0	1.00	1.00
	1	1	0	0	1.00	1.00	0	1	0	0.00	–
	2	4	3	0	0.57	1.00	3	2	0	0.60	1.00

	1	4	5	0	0.44	1.00	3	4	0	0.43	1.00
--	---	---	---	---	-------------	-------------	---	---	---	-------------	-------------



а)



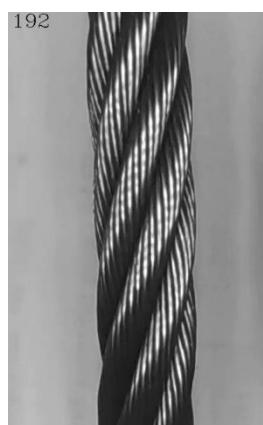
б)



в)



г)



д)



е)

Рис. 6. – Примеры дефектов

Показатели надежности обнаружения имеют значения:

- дефект диаметра $AP_d = 0.87$; $AR_d = 0.97$;
- дефект типа «волнистость» $AP_b = 0.55$; $AR_b = 0.81$;
- по двум дефектам $mAP = 0.73$; $mAR = 0.92$.

Заключение

На основе проведенного тестирования предложенных алгоритмов обнаружения дефектов геометрии стального каната и соответствующего ПО можно сделать следующие выводы.

Для дефекта диаметра каната типа «утолщение/утонение» в большинстве экспериментов получены достаточно высокие показатели надежности обнаружения по обоим составляющим показателя: по точности и полноте.

Для дефекта типа «волнистость» полученные показатели точности меньше, вследствие наличия значительной доли ложных обнаружений, в то же время показатели полноты, за исключением трех случаев, достаточно высоки, в частности, в десяти экспериментах из семнадцати они равны единице (100%). Аналогичные выводы относятся и к усредненным показателям.

В контексте задачи дефектоскопического контроля и безопасности эксплуатации стальных канатов показатель полноты представляется даже более важным, так как характеризует надежность самого факта обнаружения или пропуска дефекта, поэтому, в целом, полученные показатели можно считать приемлемыми, а алгоритмы пригодными для практического применения. В настоящее время выполняется их доработка и повторное тестирование.

Благодарности

Работа выполнялась в рамках НИОКР по договору № 57ГРЦЭИИС12-D7/79071 от 05.08.2022 г. с «Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» на тему «Разработка программно-аппаратного комплекса автоматизированного визуально-измерительного контроля стальных канатов на основе технологий

компьютерного зрения» федерального проекта «Искусственный интеллект» национальной программы «Цифровая экономика».

Литература

1. Панфилов А.В., Короткий А.А., Иванов Б.Ф., Панфилова Э.А. О критериях и нормах браковки канатов пассажирских канатных дорог // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. №1. с. 53-65.

2. Короткий А.А., Хальфин М.Н., Иванов Б.Ф., Котельников В.С. и др. Канаты стальные. Контроль и нормы браковки. РД РОСЭК 012-97. – 52 с.

3. Панфилов А.В., Юсупов А.Р., Гавриков М.М., Синецкий Р.М. Алгоритмизация задачи видеоскопического контроля состояния стальных канатов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2023, №1. - DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-01-87-100

4. Короткий А.А., Панфилов А.В., Панфилов И.А., Юсупов А.Р., Марчук В.И. Способ визуально-измерительного контроля стального каната. Патент №2775348, Федеральная служба по интеллектуальной собственности, Рос. Федерация. Заявл. 23.03.2021, № 2021107842, Оpubл. 29.06.2022. – 16 с.

5. Sidney F. Ray. Applied Photographic Optics. – Focal, 2002 – 565 p. – ISBN: 0240515404

6. Wen, G., Wang, Z., Xia, S. et al. Least-squares fitting of multiple M-dimensional point sets. Visual Comput 22, 387–398 (2006). doi.org/10.1007/s00371-006-0022-6

7. Короткий А.А., Панфилов А.В., Бондаренко Р.Б., Садртдинов И.А., Юсупов А.Р. Видеопотоки типовых дефектов стальных канатов. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2022622779. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, Рос. Федерация. Дата регистрации 08.11.2022 г. – 1 с.

8. Буэно, Суарес, Эспиноса. Обработка изображений с помощью OpenCV. — М.: ДМК-Пресс, 2016. — 210 с. — ISBN 978-5-97060-387-1.
9. Howse Joseph, Minichino Joe. Learning OpenCV 4 Computer Vision with Python 3. 3rd Edition. – Packt Publishing, 2020. – 372 p. – ISBN: 978-1789531619
10. Harris C.R., Millman K.J., Van der Walt S.J. et al. Array programming with NumPy. Nature 585, 357–362 (2020). doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2.
11. Панфилов А.В., Короткий А.А., Иванов Б.Ф., Юсупов А.Р. Контроль канатов при эксплуатации машин с канатной тягой // Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2022, №4, DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-04-330-338
12. Padilla Rafael, Netto Sergio, Da Silva Eduardo A. B. A Survey on Performance Metrics for Object-Detection Algorithms. 2020 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), 1-3 July 2020. DOI:10.1109/IWSSIP48289.2020

References

1. Panfilov A.V., Korotkiy A.A, Ivanov B.F., Panfilova E.A. Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta, 2021, No. 1, pp. 53-65.
2. Korotkiy A.A., Halfin M.N., Ivanov B.F., Kotelnikov V.S. Kanaty stalnye. Kontrol i normy brakovki. [Steel ropes. Control and rejection standards.] Moskva, RD ROSEK 012-97. 52 p.
3. Panfilov A.V., Yusupov A.R., Gavrikov M.M., Sinetsky R.M. Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta, 2021, No. 1, pp. 87-100. DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-01-87-100
4. Korotkiy A.A., Panfilov A.V., Panfilov I.A., Yusupov A.R., Marchbuk V.I. Sposob vizualnoiz-meritelnogo kontrolya stalnogo kanata [Method of visual and

measuring control of steel rope]. Patent RU 2775348. Federal'naya sluzhba po intellektual'noj sobstvennosti, Russia. Declared 23.03.2021 No 2021107842. Published 29.06.2022. 16 p.

5. Sidney F. Ray. Applied Photographic Optics. Focal, 2002 565 p. ISBN: 0240515404.

6. Wen, G., Wang, Z., Xia, Least squares fitting of multiple M-dimensional point sets. Visual Comput 22, 387–398 (2006). doi.org/10.1007/s00371-006-0022-6.

7. Korotkij A.A., Panfilov A.V., Bondarenko R.B., Sadrtidinov I.A., Yusupov A.R. Videopotoki tipovyh defektov stal'nyh kana-tov [Video streams of typical defects in steel ropes]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii bazy dannyh No 2022622779, 08.11.2022. Federal'naya sluzhba po intellektual'noj sobstvennosti, Russia. 1 p.

8. Bueno, Suarez, Espinosa. Learning Image Processing with OpenCV. Packt Publishing, 2015. 232 p. ISBN 978-1-78328-765-9.

9. Howse Joseph, Minichino Joe. Learning OpenCV 4 Computer Vision with Python 3. 3rd Edition. Packt Publishing, 2020. 372 p. ISBN: 978-1789531619.

10. Harris C.R., Millman K.J., Van der Walt S.J. et al. Array programming with NumPy. Nature 585, pp. 357–362 (2020). doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2.

11. Panfilov A.V., Korotkij A.A, Ivanov B.F., Yusupov A.R. Nauchno-tehnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta, 2022, No.4 DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-04-330-338.

12. Padilla Rafael, Netto Sergio, Da Silva Eduardo A. B. A Survey on Performance Metrics for Object-Detection Algorithms. 2020 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), 1-3 July 2020. DOI:10.1109/IWSSIP48289.2020.

Дата поступления: 5.02.2024 Дата публикации: 19.03.2024
