
Анализ сигналов

©Кузьмин Е. В., Горбунов О. Е., Плотников П. О., Тюкин В. А., 2018

DOI: 10.18255/1818-1015-2018-4-382-387

УДК 519.248.6

Эффективный алгоритм определения уровня полезных сигналов при расшифровке магнитных и вихретоковых дефектограмм

Кузьмин Е. В., Горбунов О. Е., Плотников П. О., Тюкин В. А.

получена 7 мая 2018

Аннотация. Для обеспечения безопасности движения на железнодорожном транспорте регулярно проводится неразрушающий контроль рельсов с применением различных подходов и методов, включая методы магнитной и вихретоковой дефектоскопии. Актуальной задачей по-прежнему остается автоматический анализ больших массивов данных (дефектограмм), которые поступают от соответствующего оборудования. Под анализом понимается процесс определения по дефектограммам наличия дефектных участков наряду с выявлением конструктивных элементов рельсового пути. При этом в условиях значительных объемов поступающей на обработку информации наибольший интерес представляют быстрые и эффективные алгоритмы анализа данных. Данная статья является дополнением к предыдущей статье авторов, посвященной задаче автоматического определения порогового уровня амплитуд полезных сигналов при расшифровке дефектограмм магнитных и вихретоковых дефектоскопов, в которой был предложен алгоритм нахождения порогового уровня шума рельсов с его теоретическим обоснованием, а также рассматривались примеры работы алгоритма на фрагментах реальных магнитных и вихретоковых дефектограмм. В настоящей статье приводится простая и эффективная реализация этого алгоритма, которая с успехом применяется на практике при автоматическом анализе магнитных и вихретоковых дефектограмм.

Ключевые слова: неразрушающий контроль рельсов, магнитная и вихретоковая дефектоскопия, обнаружение дефектов, автоматический анализ магнитных и вихретоковых дефектограмм

Для цитирования: Кузьмин Е. В., Горбунов О. Е., Плотников П. О., Тюкин В. А., "Эффективный алгоритм определения уровня полезных сигналов при расшифровке магнитных и вихретоковых дефектограмм", *Моделирование и анализ информационных систем*, **25**:4 (2018), 382–387.

Об авторах:

Кузьмин Егор Владимирович, orcid.org/0000-0003-0500-306X, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры теоретической информатики, Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, ул. Советская, 14, г. Ярославль, 150003 Россия, e-mail: kuzmin@uniyar.ac.ru, kuzminev@nddlab.com

Горбунов Олег Евгеньевич, orcid.org/0000-0001-6274-9971, канд. физ.-мат. наук, генеральный директор, ООО «Центр инновационного программирования», NDDLlab, ул. Союзная, 144, г. Ярославль, 150008 Россия, e-mail: gorbunovoe@nddlab.com

Плотников Петр Олегович, orcid.org/0000-0001-5687-7969, инженер-технолог, ООО «Центр инновационного программирования», NDDLlab, ул. Союзная, 144, г. Ярославль, 150008 Россия, e-mail: plotnikovpo@nddlab.com

Тюкин Вадим Александрович, orcid.org/0000-0001-9149-7435, руков. сектора разработки, ООО «Центр инновационного программирования», NDDLlab, ул. Союзная, 144, г. Ярославль, 150008 Россия, e-mail: tyukinva@nddlab.com

Введение

Для обеспечения безопасности движения на железнодорожном транспорте регулярно проводится неразрушающий контроль рельсов с применением различных подходов и методов, включая методы магнитной и вихретоковой дефектоскопии. Актуальной задачей по-прежнему остается автоматический анализ [2–5] больших массивов данных (дефектограмм), которые поступают от соответствующего оборудования. Под анализом понимается процесс определения по дефектограммам наличия дефектных участков наряду с выявлением конструктивных элементов рельсового пути. При этом в условиях значительных объемов поступающей на обработку информации наибольший интерес представляют быстрые и эффективные алгоритмы анализа данных.

Данная статья является дополнением к статье [1], посвященной задаче автоматического определения порогового уровня амплитуд полезных сигналов при расшифровке дефектограмм магнитных и вихретоковых дефектоскопов, в которой был предложен алгоритм нахождения порогового уровня шума рельсов с его теоретическим обоснованием, а также рассматривались примеры работы алгоритма на фрагментах реальных магнитных и вихретоковых дефектограмм. В настоящей статье приводится простая и эффективная реализация этого алгоритма, которая с успехом применяется на практике при автоматическом анализе магнитных и вихретоковых дефектограмм.

В статье рассматриваются обобщения реальных устройств в виде абстрактных 8-разрядного магнитного и 10-разрядного вихретокового дефектоскопов. Значения амплитуд сигналов регистрируются дефектоскопами в виде натуральных чисел от 1 до 1024 в 10-разрядном случае и от 1 до 256 в случае 8-разрядного дефектоскопа.

При автоматическом анализе дефектограммы обычно разбиваются на фрагменты, которые, например, могут соответствовать 50-метровым участкам пути, т. е. при снятии показаний дефектоскопа с каждого миллиметра пути блок анализа представляет собой массив из 50000 элементов, где элемент массива — это значение амплитуды сигнала.

Как и ранее, под пороговым уровнем шума понимается отклонение $Level$ от среднего значения μ сигналов рассматриваемого фрагмента дефектограммы (данные с 50-метрового участка), при котором сигналы со значениями амплитуд из диапазона $[\mu - Level; \mu + Level]$ являются шумом рельсов.

Несмотря на то что шум рельсов характеризуется нормальным законом распределения вероятностей, из-за наличия сильных сигналов (от дефектов и конструктивных элементов) не представляется возможным применение в чистом виде правила трех сигм, согласно которому около 99,73% сигналов шума лежит в интервале $[\mu - 3\sigma; \mu + 3\sigma]$, где μ — это выборочное среднее, а σ — среднее квадратическое отклонение. Другими словами, сильные сигналы оказывают значительное влияние на результат вычисления среднего квадратического отклонения по всей выборке.

Для построения приемлемого уровня шума $Level \approx 3\sigma$ необходимо при вычислении приближенного значения σ исключить из рассмотрения (сильные) сигналы анализируемой выборки, которые не укладываются в рамки закона нормального распределения. Таким образом, для нахождения порога $Level$ предлагается использовать следующий итерационный алгоритм, реализующий эту идею.

Алгоритм

Основные этапы алгоритма нахождения порогового уровня шума рельсов Level:

1. Получить массив значений амплитуд сигналов $X[1..50000]$ (данные от дефектоскопа с 50-метрового участка рельсового пути).
2. Вычислить среднее арифметическое значение μ элементов массива X .
3. По элементам массива X , значения которых лежат в диапазоне $[\mu - i; \mu + i]$, где $i \in \mathbb{N}$ изначально равно 1, построить среднее квадратическое отклонение σ от значения μ . Увеличить i на 1.
4. Повторять пункт 3 до тех пор, пока не будут выполнены условия $3 \cdot \sigma < i$ и $3 \cdot \sigma' \geq (i - 1)$, где σ' — это значение σ , полученное на предыдущем шаге; при числе элементов со значением из $[\mu - i; \mu + i]$ более 30% от общего числа.
5. Присвоить переменной Level значение $3 \cdot \sigma$.
6. Выдать значение Level в качестве искомого порогового уровня шума.

Ниже приведена эффективная реализация описанного алгоритма в псевдокоде.

```
PROGRAM NoiseLevel
CONST N=1024; L=50000;
VAR X: array [1..L] of integer; /* массив значений амплитуд сигналов */
    A: array [1..N] of integer = 0; /* A[k] -- количество сигналов с амплитудой k */
    h, i, k, s, f, cnt, cntall: word;
    mu, sig, oldsig, sum, Level: double;
BEGIN_PROGRAM
load(X); h=size(X); cntall=0;
for i=1:h
    A[X[i]]=A[X[i]]+1; cntall=cntall+1;
end;
cnt=0; sum=0;
for k=1:N
    cnt=cnt+A[k]; sum=sum+A[k]*k;
end;
mu=sum/cnt; k=round(mu); /* round() -- округление до ближайшего целого */
sum=(k-mu)*(k-mu)*A[k]; cnt=A[k]; sig=sqrt(sum/cnt);
for k=1:N
    s=round(mu-k); f=round(mu+k);
    if s>=1 cnt=cnt+A[s]; sum=sum+(s-mu)*(s-mu)*A[s]; end;
    if f<=N cnt=cnt+A[f]; sum=sum+(f-mu)*(f-mu)*A[f]; end;
    oldsig=sig; sig=sqrt(sum/cnt);
    if cnt>0.3*cntall & 3*sig<k & 3*oldsig>=(k-1) break; end;
end;
Level=3*sig;
END_PROGRAM.
```

Этот алгоритм имеет в своей основе ту же самую идею, что и описанный ранее алгоритм из статьи [1]. Но в отличие от прошлой реализации алгоритма, которая была призвана адекватно отразить интересные свойства нормального распределения, в том числе и свойства определенных функций $\varphi(x)$ и $\psi(x)$, эта реализация является

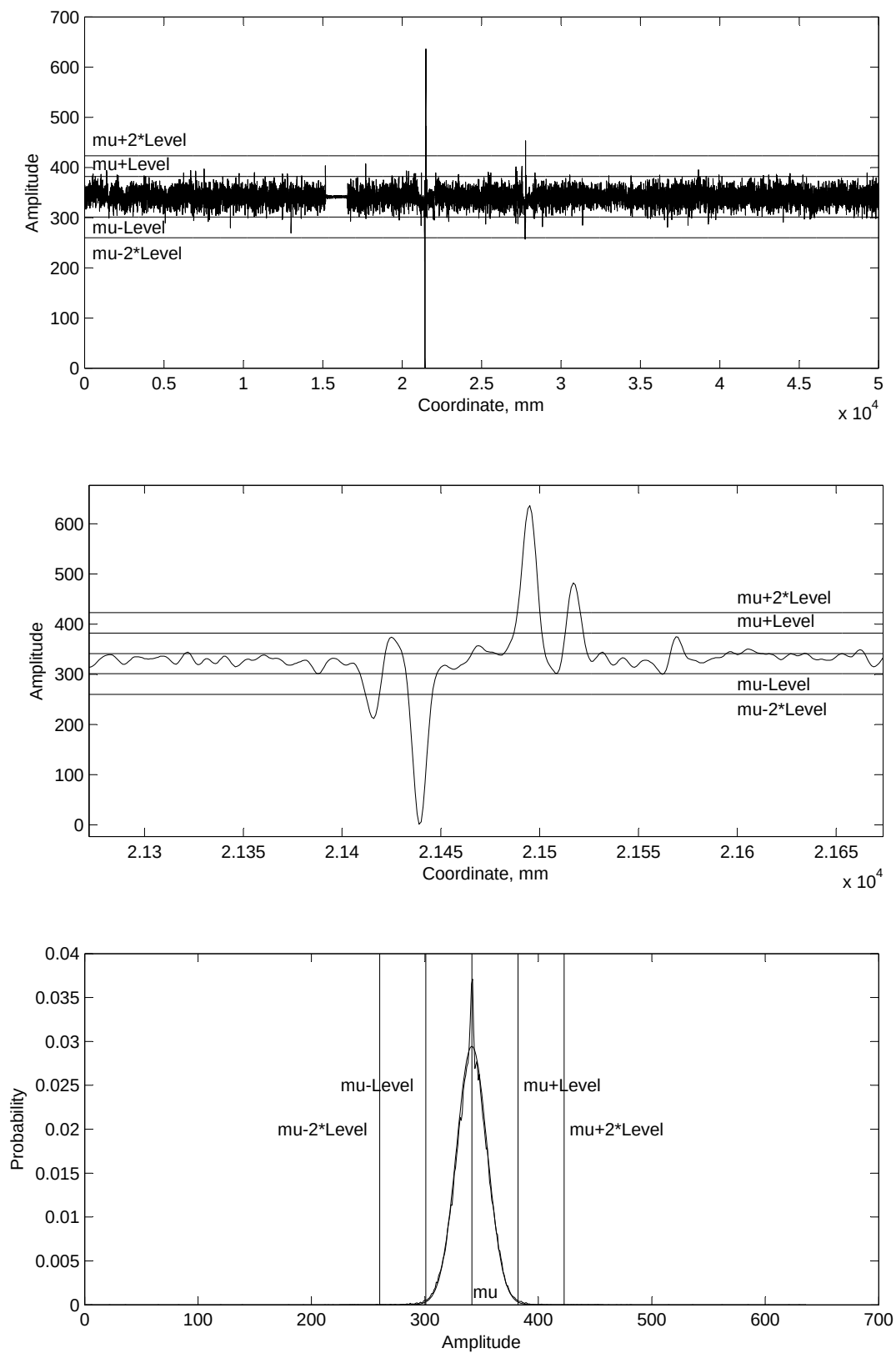


Рис. 1. Представления данных дефектограмм с результатами работы алгоритма
Fig. 1. Representations of flaw detector data and algorithm work results

крайне простой и эффективной. По сути, для вычисления порогового уровня шума Level необходимо построить среднееквадратическое отклонение σ от μ по данным из диапазона $[\mu - \text{Level}; \mu + \text{Level}]$, где μ — среднее арифметическое значение элементов исходного массива амплитуд X . При этом вычисление σ производится с использованием вспомогательного массива A , который хранит «частоты» соответствующих его индексам амплитуд сигналов.

Условия останковки алгоритма имеют прежнее обоснование [1] и ориентированы на дефектограммы, которые содержат от $\approx 90\%$ до $\approx 50\%$ сигналов шума (требование обработки более 30% всех сигналов фрагмента данных).

Пример. На верхнем графике рис. 1 представлена дефектограмма, которая была записана 10-разрядным вихретоковым дефектоскопом на 50-метровом участке рельсового пути. Средний график — фрагмент записи, соответствующий сварному стыку рельсов. Регистрация данных проводилась каждый миллиметр пути (ось X). Амплитудное значение сигнала, полученное на одном шаге сканирования, откладывается по оси Y . Нижний график рис. 1 — оценка плотности распределения вероятности появления некоторой амплитуды на рассматриваемом участке рельсов. На всех графиках рис. 1 показаны результаты алгоритма в виде линий отсечки шума рельсов и уровня начала полезных сигналов: $\mu = 341,4012$, $\sigma = 13,5476$, $\text{Level} = 40,6428$.

На рассмотренном примере видно, что шум рельсов (в приближении) подчиняется закону нормального распределения вероятностей. График оценки плотности распределения шума близок к графику плотности нормального распределения с параметрами μ и σ , где μ — математическое ожидание, а σ — среднее квадратическое отклонение амплитуд сигналов шума ($\text{Level} = 3\sigma$).

Список литературы / References

- [1] Кузьмин Е. В., Горбунов О. Е., Плотников П. О., Тюкин В. А., “Об определении уровня полезных сигналов при расшифровке магнитных и вихретоковых дефектограмм”, *Модел. и анализ информ. систем*, **24**:6 (2017), 760–771; [Kuzmin E. V., Gorbunov O. E., Plotnikov P. O., Tyukin V. A., “On Finding a Threshold of Useful Signals in the Analysis of Magnetic and Eddy Current Defectograms”, *Modeling and Analysis of Information Systems*, **24**:6 (2017), 760–771, (in Russian).]
- [2] Марков А. А., Кузнецова Е. А., *Дефектоскопия рельсов. Формирование и анализ сигналов. Кн. 1. Основы*, КультИнформПресс, СПб., 2010; [Markov A. A., Kuznetsova E. A., *Rails flaw detection. Formation and analysis of signals. Book 1. Principles*, KultInformPress, St. Petersburg, 2010, (in Russian).]
- [3] Марков А. А., Кузнецова Е. А., *Дефектоскопия рельсов. Формирование и анализ сигналов. Кн. 2. Расшифровка дефектограмм*, Ультра Принт, СПб., 2014; [Markov A. A., Kuznetsova E. A., *Rails flaw detection. Formation and analysis of signals. Book 2. Data interpretation*, Ultra Print, St. Petersburg, 2014, (in Russian).]
- [4] Тарабрин В. Ф., Зверев А. В., Горбунов О. Е., Кузьмин Е. В., “О фильтрации данных при автоматической расшифровке дефектограмм АПК «АСТРА»”, *В мире неразрушающего контроля*, **64**:2 (2014), 5–9; [Tarabrin V. F., Zverev A. V., Gorbunov O. E., Kuzmin E. V., “About Data Filtration of the Defectogram Automatic Interpretation by Hardware and Software Complex ”ASTRA””, *NDT World*, **64**:2 (2014), 5–9, (in Russian).]
- [5] Тарабрин В. Ф., Кузьмин Е. В., Горбунов О. Е., Зверев А. В., “Об определении динамического порога уровня сигналов при автоматической расшифровке дефектограмм АПК «АСТРА»”, *Сборник тезисов научных докладов XX Всероссийской научно-техн. конф. по неразрушающему контролю и технической диагностике*, Спектр,

- М., 2014, 145–147; [Tarabrin V. F., Kuzmin E. V., Gorbunov O. E., Zverev A. V., “Ob opredelenii dinamicheskogo poroga urovnya signalov pri avtomaticheskoy rasshifrovke defektogramm APK ”ASTRA””, *Sbornik tezisev nauchnykh dokladov XX vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po nerazrushayushemu kontrolyu i tekhnicheskoy diagnostike*, Spektr, Moscow, 2014, 145–147, (in Russian).]
- [6] Вентцель Е. С., Овчаров Л. А., *Теория вероятностей и ее инженерные приложения*, Высшая школа, М., 2000; [Ventcel E. S., Ovcharov L. A., *Probability Theory and Its Engineering Applications*, Vysshaya Shkola Publishers, Moscow, 2000, (in Russian).]
- [7] Гмурман В. Е., *Теория вероятностей и математическая статистика*, Высшая школа, М., 2004; [Gmurman V. E., *Probability Theory and Mathematical Statistics*, Vysshaya Shkola Publishers, Moscow, 2004, (in Russian).]
- [8] Феллер В., *Введение в теорию вероятностей и ее приложения*, В 2-х томах. Пер. с англ., Мир, М., 1984; In English: Feller W., *An Introduction to Probability Theory and Its Applications*. V.I–II, John Wiley & Sons, 1970–1971.

Kuzmin E. V., Gorbunov O. E., Plotnikov P. O., Tyukin V. A., "An Efficient Algorithm for Finding a Threshold of Useful Signals in the Analysis of Magnetic and Eddy Current Defectograms", *Modeling and Analysis of Information Systems*, **25:4** (2018), 382–387.

DOI: 10.18255/1818-1015-2018-4-382-387

Abstract. To ensure traffic safety of railway transport, non-destructive testing of rails is regularly carried out by using various approaches and methods, including magnetic and eddy current flaw detection methods. An automatic analysis of large data sets (defectograms) that come from the corresponding equipment is still an actual problem. The analysis means a process of determining the presence of defective sections along with identifying structural elements of railway tracks on defectograms. At the same time, under the conditions of significant volumes of incoming information, fast and efficient algorithms of data analysis are of most interest. This article is an addition to the previous article devoted to the problem of automatic determination of a threshold level of amplitudes of useful signals (from defects and structural elements of a railway track) during the analysis of defectograms (records) of magnetic and eddy current flaw detectors, which contains an algorithm for finding the threshold level of a rail noise and its theoretical justification with examples of its operation on several fragments of real magnetic and eddy current defectograms. The article presents a simple and effective implementation of the algorithm, which is successfully used in practice for the automatic analysis of magnetic and eddy current defectograms.

Keywords: nondestructive testing, magnetic and eddy current testing, rail flaw detection, automated analysis of magnetic and eddy current defectograms

On the authors:

Egor V. Kuzmin, orcid.org/0000-0003-0500-306X, doctor of science, associate professor, P.G. Demidov Yaroslavl State University, 14 Sovetskaya str., Yaroslavl, 150003 Russia, e-mail: kuzmin@uniyar.ac.ru, kuzminev@nddlab.com

Oleg E. Gorbunov, orcid.org/0000-0001-6274-9971, PhD, general director, Center of Innovative Programming, NDDLlab, 144 Soyuznaya str., Yaroslavl, 150008, Russia, e-mail: gorbunovoe@nddlab.com

Petr O. Plotnikov, orcid.org/0000-0001-5687-7969, production engineer, Center of Innovative Programming, NDDLlab, 144 Soyuznaya str., Yaroslavl, 150008, Russia, e-mail: plotnikovpo@nddlab.com

Vadim A. Tyukin, orcid.org/0000-0001-9149-7435, head of software development, Center of Innovative Programming, NDDLlab, 144 Soyuznaya str., Yaroslavl, 150008, Russia, e-mail: tyukinva@nddlab.com