



УДК 625.04

АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРИБЛИЖАЮЩЕГОСЯ ПОЕЗДА

С.В. Бибиков^а^а Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

Адрес для переписки: bibikov@speechpro.com

Информация о статье

Поступила в редакцию 20.04.15, принята к печати 26.06.15

doi:10.17586/2226-1494-2015-15-5-950-953

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Бибиков С.В. Алгоритм обнаружения приближающегося поезда // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 5. С. 950–953.**Аннотация**

Представлен алгоритм обнаружения виброакустических колебаний рельса, вызванных приближением поезда, на фоне повышенных шумов. Обоснована актуальность разработки алгоритма обнаружения поезда при повышенных шумах рельса, когда железнодорожные пути находятся вблизи автомобильных дорог и пересечений. За основу взят метод обнаружения слабого сигнала в зашумленной среде. Уточнено конечное выражение информационной статистики. Приведены результаты исследований алгоритма и испытаний устройства оповещения о приближении поезда, использующего приведенный алгоритм. Алгоритм подготовлен для модернизации устройства оповещения о приближении поезда «Сигнализатор-П».

Ключевые слова

устройство оповещения, информация, алгоритм, обнаружение поезда, рельс, время упреждения, виброакустические колебания.

THE APPROACHING TRAIN DETECTION ALGORITHM

S.V. Bibikov^а^а ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

Corresponding author: bibikov@speechpro.com

Article info

Received 20.04.15, accepted 26.06.15

doi:10.17586/2226-1494-2015-15-5-950-953

Article in Russian

For citation: Bibikov S.V. The approaching train detection algorithm. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2015, vol. 15, no. 5, pp. 950–953.**Abstract**

The paper deals with detection algorithm for rail vibroacoustic waves caused by approaching train on the background of increased noise. The urgency of algorithm development for train detection in view of increased rail noise, when railway lines are close to roads or road intersections is justified. The algorithm is based on the method of weak signals detection in a noisy environment. The information statistics ultimate expression is adjusted. We present the results of algorithm research and testing of the train approach alarm device that implements the proposed algorithm. The algorithm is prepared for upgrading the train approach alarm device “Signalizator-P”.

Keywords

alarm device, information, algorithm, train detection, rail, lead time, vibroacoustic waves.

В процессе эксплуатации на Октябрьской железной дороге продолжается модернизация переносного устройства оповещения о приближении поезда «Сигнализатор-П». Устройство устанавливается непосредственно на рельс вблизи места работы малочисленной бригады и включает сигналы оповещения при обнаружении виброакустических колебаний от приближающегося поезда. Основная задача модернизации – снизить вероятность опасного отказа устройства оповещения, когда время от включения оповещения до достижения поездом места установки устройства (время упреждения) меньше времени, установленного нормативными документами (50 с).

Несвоевременное обнаружение поезда возможно при повышенном собственном шуме рельса. Это, в свою очередь, возможно при расположении автомобильных дорог, переездов и эстакад вблизи железнодорожных путей. В настоящее время в устройстве оповещения используется классический полосно-энергетический алгоритм обнаружения с вычитанием энергии шума. Энергия шума усредняется в течение большого интервала времени в отсутствии поезда.

С помощью устройства «Сигнализатор-П» были произведены записи фонограмм шума и приближающихся поездов на железнодорожных путях, находящихся вблизи автодорог и виадуков. Результаты обработки этих фонограмм приведены в табл. 1.

	Участок железнодорожного пути, Витебское направление	Собственный шум рельса, дБ		Отношение «сигнал-помеха», дБ	
		Время суток 10.00 – 12.00	Время суток 21.00 – 22.00	Время суток 10.00 – 12.00	Время суток 21.00 – 22.00
1	Витебский пр., путепровод, Московское шоссе	21	6	4	6
2	Витебский пр., путепровод КАД, 200 м к городу	12	6	10	18
3	Ст. 21 км, от станции 800 м за город (нет дорог)	0	0	43	46

Таблица 1. Значения собственного шума рельса и отношения сигнал-помеха

Участок (строка 3, табл. 1) железнодорожных путей не содержит близкорасположенных источников шума и взят для сравнения с зашумленными участками 1 и 2.

Для разработки алгоритма обнаружения поезда используем третье определение информации по А.Н. Колмогорову [1] и основные идеи, заложенные в реализацию информационно-адаптивного метода обнаружения слабых источников сигнала на фоне помех [2, 3]:

- энергия смеси сигнала с помехой всегда больше энергии помехи;
- мерой при обнаружении полезного сигнала в смеси «сигнал + помеха» является информация об отличии этой смеси от помехи;
- информацию можно накапливать по всем доступным степеням свободы как во временной, так и в частотной областях. Это смягчает требования к стационарности сигнала и к функции распределения смеси сигнала с помехой [4–6].

Источником виброакустического сигнала движущегося поезда, принимаемого устройством оповещения, является зона контакта колеса и рельса. Это – близкая к эллипсу фигура на поверхности рельса размером приблизительно 12×18 мм [7]. В качестве элемента разрешения принимаем стандартное расстояние между скреплениями железнодорожного пути, равное 54 см. Зная диапазон скоростей движения поезда (25–140 км/ч), который устройство должно обнаружить, можно вычислить время нахождения зоны контакта в элементе разрешения.

Обоснование и описание исходного алгоритма приведено в [3]. Выражение исходной информационной статистики

$$I(S, A) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^M J_i(A) \cdot [\log[(\sigma_X)^2] - \log(\sigma_N)^2]$$

было изменено, поскольку накопление информации производится по фиксированным спектральным подгруппам и во времени:

$$I_{MN}(S) := \sum_{j=1}^{SG} \sum_{i=1}^M \log \frac{(\sigma_{Xij})^2}{(\sigma_{Nij})^2},$$

где $I(S, A)$ – информационная статистика наличия сигнала S в смеси «сигнал+помеха» информационно-адаптивного алгоритма; $J_i(A)$ – функция выбора компоненты при вычислениях, ($J = 0$ или 1), результат фильтрации полученных промежуточных значений пороговой функцией A , не описанной в [3]; $I_{MN}(S)$ – информационная статистика наличия сигнала S в смеси «сигнал+помеха» предложенного алгоритма; σ^2 – дисперсия соответствующего процесса: σ_X^2 – смеси, σ_N^2 – помехи; M – количество отсчетов во временной области, которое определяется свойствами сигнала и временем нахождения зоны контакта в элементе разрешения; SG – количество спектральных подгрупп процессов в диапазоне частот.

Ниже приводится упрощенное описание алгоритма.

1. Накопление и преобразование Фурье фрейма отсчетов сигнала (2048 отсчетов, частота 48 кГц); если не накоплен, перейти к 7.
2. Накопление буфера спектральных компонент 2,4 с, если не накоплен, перейти к 7.
3. Вычисление статистических характеристик для фиксированных подгрупп спектра.
4. Вычисление I_{MN} .
5. Сравнение I_{MN} с порогом; если $I_{MN} < I_{lim}$, перейти к 1.
6. Включение сигнала оповещения.
7. Завершение цикла алгоритма.

Основное отличие предложенного энтропийного алгоритма от приведенного в [3] – переход от анализа непрерывного спектра с возможностью исключения отдельных спектральных компонент к фиксированным спектральным подгруппам. Уменьшается объем вычислений. Значения дисперсии помехи σ_N

в отсутствии поезда для каждой подгруппы вычислены по данным соответствующей фонограммы (табл. 1).

Пороговое значение I_{lim} для заданных ошибок I(α) и II(β) рода при принятии решения об обнаружении определяется выражением [3]

$$I_{lim} \geq I_{por} = \beta \cdot \log\left(\frac{\beta}{1-\alpha}\right) + (1-\beta) \cdot \log\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right).$$

Компьютерное исследование алгоритма на фонограммах (табл. 1), взятых в качестве источника сигнала, показало устойчивое увеличение времени упреждения на 7–25 с относительно полосно-энергетического алгоритма (табл. 2). Время упреждения значительно больше требуемого, что повышает безопасность устройства оповещения.

	Участок железнодорожного пути, Витебское направление	Время упреждения полосно-энергетического алгоритма, с		Время упреждения энтропийного алгоритма, с	
		Время суток 10.00 – 12.00	Время суток 21.00 – 22.00	Время суток 10.00 – 12.00	Время суток 21.00 – 22.00
1	Витебский пр, путепровод, Московское шоссе	50	56	64	66
2	Витебский пр., путепровод КАД, 200 м к городу	48	52	63	70
3	Ст. 21 км, от станции 800 м за город (нет дорог)	114	114	121	121

Таблица 2. Сравнение времени упреждения для различных алгоритмов вблизи автодорог

Проведено испытание описанного алгоритма обнаружения поезда, реализованного на процессоре цифровой обработки сигналов фирмы Texas Instruments, на том же устройстве оповещения «Сигнализатор-П» (рисунок), на котором делались записи фонограмм (табл. 1), на участках 1 и 2 (табл. 2) с наибольшим уровнем шумов. Значения дисперсии помехи σ_N^2 в отсутствии поезда вычислялись устройством оповещения, установленным на рельс, после его включения. Отличие от результатов компьютерных исследований не превышает 3 с.



Рисунок. Устройство оповещения о приближении поезда «Сигнализатор-П»

Таким образом, алгоритм показал свою работоспособность в условиях повышенных шумов и рекомендован при модернизации устройства оповещения о приближающемся поезде «Сигнализатор-П».

1. Kolmogorov A.N. Three approaches to the definition of the concept "quantity of information". *Problemy Peredachi Informacii*, 1965, vol. 1, no. 1, pp. 3–11. (In Russian)
2. Kuz'min I.V., Kedrus V.A. *Osnovy Teorii Informatsii i Kodirovaniya* [Fundamentals of Information Theory and Coding]. Kiev, Vishcha shkola, 1986. 238 p.
3. Kuryshev V.E. *Information-Adaptive Method of Signal Detection and Classification of Their Sources*. Available at: <http://nevod.newmail.ru/Site0711/cta/230811/iam.htm> (accessed 16.05.2015).
4. Dubnov S. Generalization of spectral flatness measure for non-Gaussian processes. *IEEE Signal Processing Letters*, 2004, vol. 11, no. 8, pp. 698–701. doi: 10.1109/LSP.2004.831663

5. Fisher E., Tabrikian J., Dubnov S. Generalized likelihood ratio test for voiced-unvoiced decision in noisy speech using the harmonic model. *IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing*, 2006, vol. 14, no. 2, pp. 502–510. doi: 10.1109/TSA.2005.857806
6. Dubnov S., Hinich M.J. Analyzing several musical instrument tones using the randomly modulated periodicity model. *Signal Processing*, 2009, vol. 89, no. 1, pp. 24–30. doi: 10.1016/j.sigpro.2008.07.006
7. Koshechkina N.I., Nosko G.S. K voprosu o mekhanizme zvukoobrazovaniya kontaktnogo vzaimodeistviya koleasa i rel'sa [On the mechanism of sound production of contact interaction of wheel and rail]. *Visnik SNU im. V. Dalya*, 2011, no. 4 (158), part 1, pp. 101–106.

Биби́ков Серге́й Викторович

– старший преподаватель, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, bibikov@speechpro.com

Sergei V. Bibikov

– senior lecturer, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, bibikov@speechpro.com