

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ РОВНОСТИ ПОКРЫТИЯ АВТОДОРОГ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДАННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ

Столбова А.А.,
Прохоров С.А.,
Головнин О.К.

Самарский университет

ул. Московское шоссе, д. 34,
г. Самара, 443086

anastasiya.stolbova@bk.ru

В статье представлен подход к обнаружению поверхностных дефектов покрытия улиц и автодорог на основе вейвлет-анализа данных, полученных с помощью ультразвукового профилометра. Подход позволяет определить локальное расположение дефектов покрытия относительно ширины полосы автодороги. Приведены результаты применения подхода с использованием комплексного вейвлета Морле и первой производной функции Гаусса. Применение подхода снижает влияние помех, возникающих в процессе ультразвуковой диагностики покрытия улиц и автодорог.

Ключевые слова. ультразвуковая рейка; вейвлет-анализ; дефект дорожного покрытия

1 Введение

Анализ состояния дорожного покрытия важен для разработки стратегии ремонта и технического обслуживания улиц и автодорог, а также для обеспечения безопасности дорожного движения. Так, обнаружение выбоин, неровностей и других дефектов дорожного покрытия является одной из актуальных задач, стоящих перед обслуживающими организациями. В настоящее время мониторинг состояния дорожного покрытия является широко изучаемой проблемой, в связи с чем активно развиваются различные технологии, направленные на обнаружение поверхностных дефектов покрытия улиц и автодорог.

Современные подходы к обнаружению дефектов дорожного покрытия предполагают проведение анализа данных, полученных с различных специализированных и бытовых технических устройств, например, датчиков смартфонов [1, 2], камер видеонаблюдения [3], а также сенсоров, устанавливаемых на транспортных средствах [4]. В ряде работ рассмотрены подходы, основанные на

применении методов глубокого машинного обучения к этим данным, например, с использованием сверточных нейронных сетей, нейросетей на основе LSTM-ячеек, моделей резервуарных вычислений [5, 6]. В [7] предлагается подход к автоматическому обнаружению и классификации дефектов дороги по изображениям, основанный на анализе особенностей формы и текстуры. В [8, 9, 10] предложены методы обнаружения дефектов дорожного покрытия, использующие вейвлет-разложение, и обозначена эффективность вейвлетов в задачах диагностики.

В данной работе предлагается подход к обнаружению поверхностных дефектов покрытия улиц и автодорог на основе анализа данных, полученных с помощью профилометра – ультразвуковой рейки. Реализация подхода предполагает применение вейвлет-преобразования к получаемым данным ультразвуковой диагностики, что снижает влияние помех, возникающих в процессе обследования автодороги.

2 Описание подхода

Подход в своей реализации предполагает использование специализированного устройства для выполнения диагностики автодорог – профилометра, на котором зафиксированы ультразвуковые излучатели и датчики. К транспортному средству (передвижной дорожной лаборатории) крепится ультразвуковая рейка длиной l на высоте $h=100-200$ мм. Большинство профилометров, производимых в России, обладают длиной $l=3000$ мм, что обеспечивает покрытие всей ширины одной полосы автодороги. На рейке установлены 16 ультразвуковых датчиков на расстоянии $d=200$ мм друг от друга. Рейка по последовательному интерфейсу СОМ-порта на скорости 9600 бод передает данные на обрабатывающее устройство. Схематично ультразвуковая рейка представлена на рисунке 1.

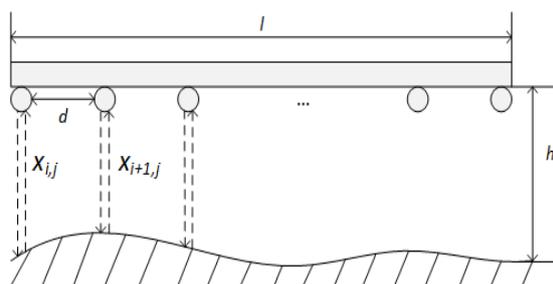


Рисунок 1. Ультразвуковая рейка при анализе профиля автодороги

Транспортное средство с установленной на нем ультразвуковой рейкой перемещается по полосе автодороги со скоростью $v=20-60$ км/ч и записывает измеренные значения $x_{i,j}$ через равные промежутки времени Δt :

$$\Delta t = t_{i,j+1} - t_{i,j} = const,$$

$$X = \begin{bmatrix} x_{00} & \dots & x_{0,M-1} \\ \vdots & x_{i,j} & \vdots \\ x_{N-1,0} & \dots & x_{N-1,M-1} \end{bmatrix},$$

где $i=0, \dots, N-1$ – число датчиков на звуковой рейке;

$j=0, \dots, M-1$ – число измерений каждого датчика;

$x_{i,j}$ – измеренное значение с датчика ультразвуковой рейки;

X – матрица полученных отсчетов.

Для обнаружения дефектов и неровностей к полученным исходным данным применяется вейвлет-преобразование:

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt,$$

где $x(t)$ – исследуемый процесс;

$\psi(t)$ – выбранный анализирующий вейвлет;

$a \neq 0$ – параметр масштаба;

$b \geq 0$ – параметр сдвига.

В качестве анализирующих вейвлетов предлагается использовать комплексный вейвлет Морле:

$$\psi(t) = e^{-ikt} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}},$$

или первую производная функции Гаусса:

$$\psi(t) = -te^{-\frac{t^2}{2}}.$$

На основе анализа вейвлет-спектров определяется наличие локальных нарушений ровности, что позволяет зафиксировать наличие или отсутствие дефектов дорожного покрытия. Кроме того, фиксируется наличие нарушений ровности по отдельным датчикам ультразвуковой рейки, что позволяет сделать выводы о расположении дефекта относительно ширины полосы автодороги.

3 Результаты

Для эксперимента взяты данные с каналов ультразвуковой рейки с номерами 6-10 с числом отсчетов $M=2000$, что соответствует одной минуте движения лаборатории.

Результаты вейвлет-преобразования данных на основе комплексного вейвлета Морле, полученных с использованием ультразвуковой рейки, представлены на рисунке 2.

Вейвлет-спектры каналов с номерами 6-10 представлены сверху вниз соответственно. По оси x показано время (с), в течение которого транспортное средство двигалось, по оси y – частота исходного сигнала (Гц). Цветом на рисунке

отображается мощность сигнала. Из рисунка видно, что на 15 с и 45 с для каналов №7, №8 и №9 отмечается наиболее высокое значение мощности спектра, что соответствует наличию неровности дорожного покрытия. На каналах №6 и №10

не наблюдается явного увеличения мощности спектра, а, следовательно, на этих участках полосы автодороги дефекты дорожного покрытия отсутствуют. На 15 с фиксируется дефект-наплыв, на 45 с – дефект-выбоина.

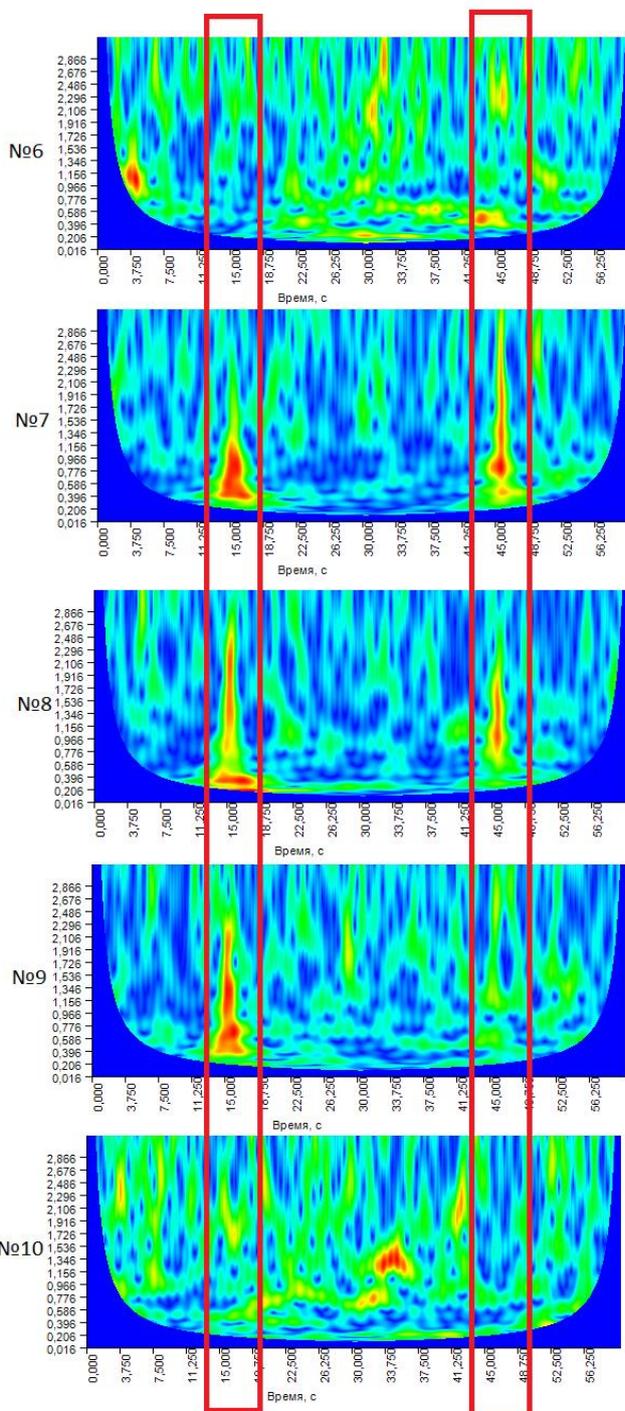


Рисунок 2. Вейвлет-спектры данных ультразвуковой диагностики (вейвлет Морле)

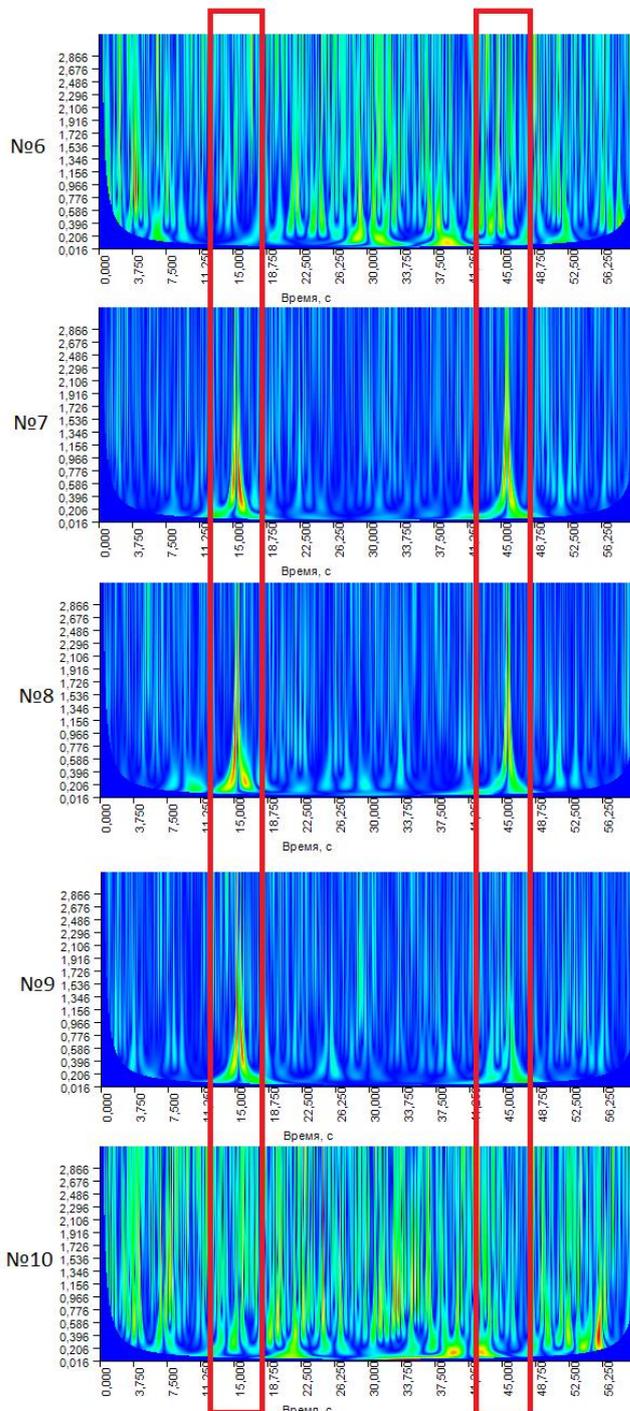


Рисунок 3. Вейвлет-спектры данных ультразвуковой диагностики (1-ая производная функции Гаусса)

Результаты вейвлет-преобразования данных на основе первой производной функции Гаусса представлены на рисунке 3. Результаты анализа аналогичны результатам анализа на базе вейвлета Морле, однако для датчика с №9 наиболее явно показано наличие дефекта дорожного покрытия на 45 с движения транспортного средства.

Результаты показывают, что оба типа вейвлетов применимы в решение задачи обработки сигналов ультразвуковой рейки, но первая производная функции Гаусса обеспечивает лучшие результаты при определении дефектов, связанных просадками покрытия.

4 Заключение

Таким образом, в работе представлен подход к ультразвуковой диагностике состояния покрытия улиц и автодорог, позволяющий на основе анализа вейвлет-спектров определять наличие или отсутствие локальных нарушений ровности, обеспечивая устойчивость к возникающим помехам.

Список использованных источников

- [1] Sattar S., Li S., Chapman M. Road surface monitoring using smartphone sensors: A review //Sensors. 2018. Т. 18. №. 11. С. 3845.
- [2] Alqudah Y. A., Sababha B. H. On the analysis of road surface conditions using embedded smartphone sensors //2017 8th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS). IEEE, 2017. С. 177-181.
- [3] Koh J. J. et al. Autonomous road potholes detection on video //Computational Science and Technology. Springer, Singapore, 2019. С. 137-143.
- [4] Anaissi A. et al. Smart pothole detection system using vehicle-mounted sensors and machine learning //Journal of Civil Structural Health Monitoring. 2019. Т. 9. №. 1. С. 91-102.
- [5] Kanaeva I. A., Ivanova J. A. Road pavement crack detection using deep learning with synthetic data // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2021. Т. 1019. №. 1. С. 012036.
- [6] Varona B., Monteserin A., Teyseyre A. A deep learning approach to automatic road surface monitoring and pothole detection //Personal and Ubiquitous Computing. 2019. С. 1-16.

- [7] Nguyen T. H. et al. Machine learning algorithms application to road defects classification //Intelligent Decision Technologies. 2018. Т. 12. №. 1. С. 59-66.
- [8] Wang P. et al. Asphalt pavement pothole detection and segmentation based on wavelet energy field //Mathematical Problems in Engineering. 2017. Т. 2017.
- [9] Головин О.К., Прохоров С.А., Столбова А.А. Обработка временных рядов измерительной информации на основе интеллектуального анализа вейвлет-спектров в системах диагностики состояния покрытия автомобильных дорог при обнаружении поверхностных дефектов / Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2020. № 4. С. 47-64.
- [10] Головин О.К., Столбова А.А. Вейвлет-анализ как инструмент исследования характеристик дорожного движения для интеллектуальных транспортных систем в условиях недостающих данных // Труды СПИИРАН. 2019. № 2 (18). С. 326-353.

DETECTION OF LOCAL IRREGULARITIES IN THE ROAD PAVEMENT ON THE BASIS OF WAVELET TRANSFORM OF ULTRASONIC PROFILING DATA

**Stolbova A.A.,
Prokhorov S.A.,
Golovnin O.K.**

Samara National Research University

34, Moskovskoe shosse, Samara,
443086, Russian Federation

anastasiya.stolbova@bk.ru

The paper presents an approach to the detection of road pavement defects on the streets and highways based on wavelet analysis of data obtained from an ultrasonic profilometer. The approach makes it possible to determine the location of pavement defects in relation to the road lane. The results of implementing the approach using the complex Morlet wavelet and the first derivative of the Gaussian function are presented. Implementation of the approach reduces the influence of interference arising during ultrasonic diagnosis.

Keywords: *ultrasonic staff; wavelet analysis; road surface defect*

References

- [1] Sattar, S., Li, S., Chapman, M. Road surface monitoring using smartphone sensors: A review //Sensors. 2018. V. 18. no. 11. pp. 3845.
- [2] Alqudah, Y. A., Sababha, B. H. On the analysis of road surface conditions using embedded smartphone sensors //2017 8th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS). IEEE, 2017. pp. 177-181.
- [3] Koh, J. J., Yap, T. T. V., Ng, H., Goh, V. T., Tong, H. L., Ho, C. C., Kuek, T. Y. Autonomous road potholes detection on video //Computational Science and Technology. Springer, Singapore, 2019. pp. 137-143.
- [4] Anaissi, A., Khoa, N. L. D., Rakotoarivelo, T., Alamdari, M. M., Wang, Y. Smart pothole detection system using vehicle-mounted sensors and machine learning //Journal of Civil Structural Health Monitoring. 2019. V. 9. no. 1. pp. 91-102.
- [5] Kanaeva, I. A., Ivanova, J. A. Road pavement crack detection using deep learning with synthetic data //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2021. V. 1019. no. 1. pp. 012036.
- [6] Varona, B., Montserin, A., Teyseyre, A. A deep learning approach to automatic road surface monitoring and pothole detection //Personal and Ubiquitous Computing. 2019. pp. 1-16.
- [7] Nguyen, T. H., Nguyen, T. L., Sidorov, D. N., Dreglea, A. I. Machine learning algorithms application to road defects classification //Intelligent Decision Technologies. 2018. V. 12. no. 1. pp. 59-66.
- [8] Wang, P., Hu, Y., Dai, Y., Tian, M. Asphalt pavement pothole detection and segmentation based on wave-let energy field //Mathematical Problems in Engineering. 2017. V. 2017.
- [9] Golovnin, O.K., Prokhorov, S.A., Stolbova, A.A. Processing time series of measurements based on intellectual analysis of wavelet spectra in survey systems for road pavement defects detection / Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Tekhnicheskie nauki. 2020. no 4. pp. 47-64.
- [10] Golovnin, O. K., Stolbova, A. A. Wavelet analysis as a tool for studying the road traffic characteristics in the context of intelligent transport systems with incomplete data //Trudy Spiiran. 2019. V. 18. no. 2. pp. 326-353.