

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ МАКРОСКОПИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ СРЕДСТВАМИ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА АУДИОСИГНАЛОВ

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

Самарский национальный
исследовательский университет
имени С.П. Королева,
Московское шоссе, д. 34,
г. Самара, 443086

golovnin@ssau.ru

В работе предлагается подход к исследованию характеристик транспортных потоков средствами вейвлет-анализа аудиосигналов, позволяющий строить фундаментальные макроскопические модели транспортных потоков с возможностью разделения по типам транспортных средств.

Ключевые слова: Транспортный поток, вейвлет-анализ, аудиосигнал, макроскопическая модель.

1 Введение

В силу нестабильности транспортного потока (ТП), вариативности его характеристик и состава, получение объективной информации, на основе которой функционируют технические системы управления движением, является сложным и ресурсоемким процессом [1]. Традиционно, исследователи ведут поиски по определению общих закономерностей движения ТП, опираясь на информацию, полученную от детекторов транспорта [2, 3] или видеокамер [4, 5], однако распространение получают и методы, основанные на анализе аудиосигналов, поскольку аудиосигнал обладает преимуществами в скорости передачи и обработки по сравнению с видеосигналом [6, 7]. В настоящей работе развивается подход к исследованию аудиосигналов с целью детектирования проезжающих транспортных средств (ТС), предложенный в [8], в части оценки состава и фундаментальных макроскопических характеристик ТП средствами вейвлет-анализа, показавшего свою эффективность при выявлении скрытых закономерностей в ТП [9].

2 Описание подхода

В макроскопических моделях состав ТП рассматривается как однородный, при этом параметры ТП связаны между собой фундаментальным уравнением, отражающим зависимость средней интенсивности I , плотности k и скорости v ТП: $I(t) = f(k(t), v(t))$.

Фундаментальная диаграмма ТП приведена на рисунке 1; на ней отмечены критические точки 1 и 2.

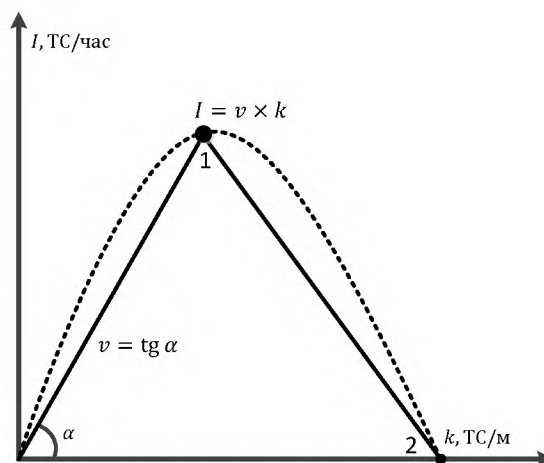


Рисунок 1. Фундаментальная диаграмма ТП

Критическая точка 1 соответствует максимальному значению интенсивности ТП на участке, а точка 2 – максимальному значению плотности ТП на участке. Обе точки

зависят от геометрических характеристик участка и схемы организации дорожного движения.

В рамках настоящего исследования определим состав ТП типом ТС, входящих в него, при этом обеспечим проведение вейвлет-анализа фундаментального уравнения для каждого из выделяемых компонентов ТП с последующим объединением результатов (рисунок 2). Ожидается, что такой подход позволит учесть сезонность ТП (зависимость от времени года, дня недели и времени суток) в отношении различных типов ТС.

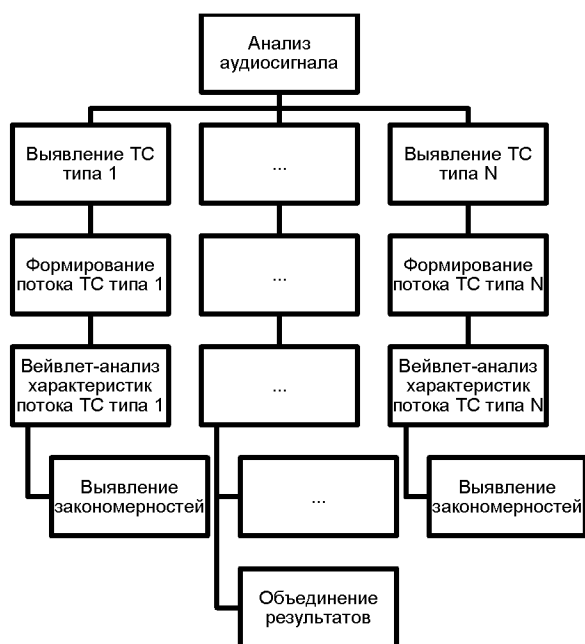


Рисунок 2. Схема предлагаемого подхода

На этапе анализа аудиосигнала происходит его преобразование в набор фреймов с перекрытием, извлекаются и нормализуются необходимые признаки, комбинируемые в один вектор, на основе которого происходит классификация ТС средствами свёрточной нейронной сети по типам ТС (от 1 до N).

На втором этапе осуществляется формирование ТП, содержащего ТС определенного типа. При формировании ТП сохраняется время детектирования ТС в аудиосигнале и учитывается коэффициент уверенности отнесения ТС к определенному типу ТС.

Далее проводится вейвлет-анализ ТП, формируемого из ТС одного типа, и выполняется построение скейлограммы. На основе

анализа скейлограммы делается вывод о наличии или отсутствии общих закономерностей, идентифицируются параметры фундаментального уравнения ТП.

Завершается процесс этапом объединения результатов, при котором формируется набор макроскопических моделей ТП, предназначенных для дальнейшего использования в технических системах управления дорожным движением, при этом сохраняется возможность реализовывать различные управляющие воздействия для различных типов ТС.

3 Результаты

Проведем исследование предлагаемого подхода на наборе данных MAVD [10]. Аудиозаписи выполнены в Монтевидео, столице Уругвая, и содержат данные, соответствующие разным уровням средней интенсивности движения на участках улиц и автодорог. Аудиосигнал записан рекордером Sony PCM-D50 с частотой дискретизации 48 кГц и разрешением 24 бита.

Детектирование ТС на аудиосигнале осуществляется с помощью интеллектуальных программных средств, описанных в [8], а проведение вейвлет-преобразования обеспечивается комплексом, представленным в [9]. В процессе исследования использована рабочая станция со следующими характеристиками: процессор Intel Core i9-10900, оперативная память 32 Гб DDR4-2933, видеокарта Nvidia GeForce RTX 2070 Super, накопитель 1 Тб SSD, операционная система Windows 10.

Использовался следующий состав ТП:

- легковое ТС (car);
- грузовое ТС (truck);
- автобус (bus);
- мотоцикл (motorcycle).

Данные о ТП имеют неэквидистантный характер, поскольку движение ТС осуществляется неравномерно:

$$\{x_i, \Delta t_i\}^{i=1..N},$$

$$\Delta t_i = t_{i+1} - t_i \neq const, \quad (1)$$

где i – номер отсчета, x_i – значения временного ряда, t_i – время отсчета.

На рисунках 3–6 приведены полученные в результате вейвлет-анализа скейлограммы для рядов данных по типам ТС.

Анализ скейлограмм для ТП, состоящих из легковых и грузовых ТС (рисунки 3 и 4), подтверждает общий вид зависимости, при котором появление экстремумов на скейлограмме соответствует суточной неравномерности дорожного движения, что подтверждается и результатами, достигнутыми в [9].

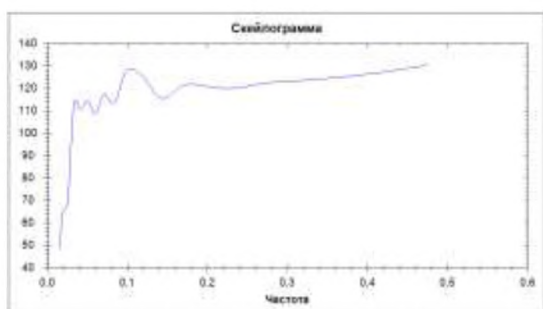


Рисунок 3. Скейлограмма (ТП, состоящий из легковых ТС)

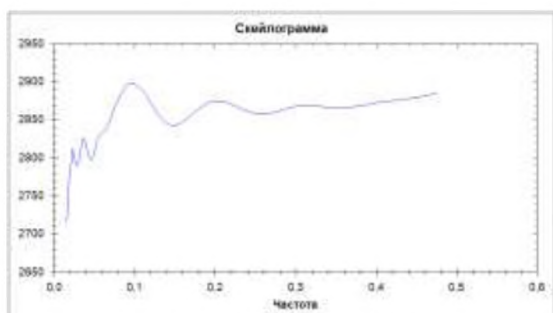


Рисунок 4. Скейлограмма (ТП, состоящий из грузовых ТС)

Скейлограмма для ТП, состоящих из ТС типа «автобус» (рисунок 5), отражает интервальный характер движения общественного транспорта.

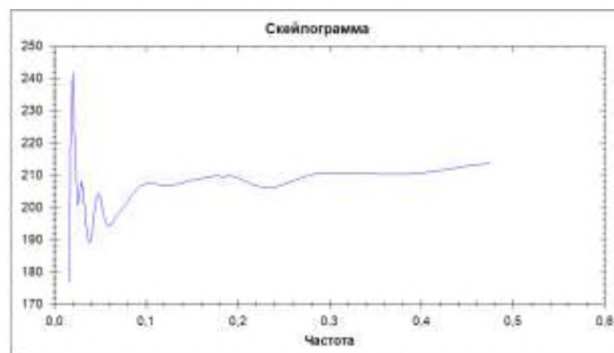


Рисунок 5. Скейлограмма (ТП, состоящий из ТС типа «автобус»)

Скейлограмма для ТП, состоящих из ТС типа «мотоцикл» (рисунок 6), показывает незначительную интенсивность движения мотоциклетного транспорта на территории обследования. Такой характер движения не позволяет судить о расположении точек насыщения ТП.

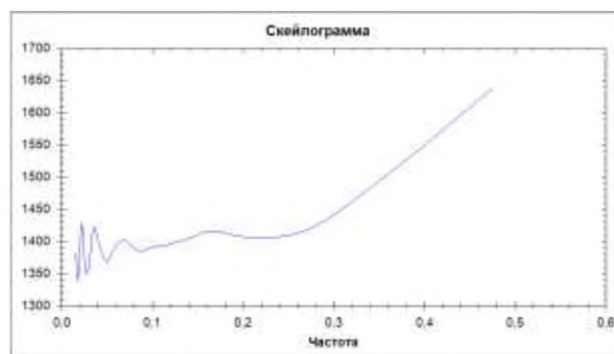


Рисунок 6. Скейлограмма (ТП, состоящий из ТС типа «мотоцикл»)

На основе полученных по скейлограммам сведений об экстремумах определяются точки насыщения 1 и 2 на фундаментальной диаграмме ТП.

4 Заключение

Таким образом, в настоящей работе предложен подход к исследованию характеристик ТП средствами вейвлет-анализа аудиосигналов, позволяющий строить фундаментальные макроскопические модели ТП с возможностью разделения по типам ТС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] Drew D.R. Traffic flow theory and control. 1968. 467 p.
- [2] Zefreh M.M., Torok A. Single loop detector data validation and imputation of missing data // Measurement. 2018. Vol. 116. P. 193–198.
- [3] Yang B., Guo Y., Xu C. Analysis of freeway secondary crashes with a two-step method by loop detector data // IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 22884–22890.
- [4] Fedorov A., Nikolskaia K., Ivanov S., Shepelev V., Minbaleev A. Traffic flow estimation with data from a video surveillance camera // Journal of Big Data. 2019. – Vol. 6(1). P. 1–15.
- [5] Wang L., Wang Y., Bie Y. Automatic estimation method for intersection saturation flow rate based on video detector data // Journal of Advanced Transportation. 2018. P. 8353084.
- [6] Lefebvre N., Chen X., Beuseroy P., Zhu M. Traffic flow estimation using acoustic signal // Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2017. Vol. 64. P. 164-171.
- [7] Gatto R.C., Forster C.H.Q. Audio-Based Machine Learning Model for Traffic Congestion Detection // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2020. P. 1–8.
- [8] Golovnin O., Privalov A., Stolbova A., Ivaschenko A. Audio-Based Vehicle Detection Implementing Artificial Intelligence // Studies in Systems, Decision and Control. 2020. Vol. 337. P. 627–638.
- [9] Golovnin O., Stolbova A., Ostroglazov N. An Analysis of Road Traffic Flow Characteristics Using Wavelet Transform // Studies in Systems, Decision and Control. 2019. Vol. 199. P. 433–445.
- [10] Zinemanas P., Cancela P., Rocamora M. MAVD-traffic dataset (Version 0.1.0). Presented at the Workshop on Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events (DCASE 2019 Workshop), New York, USA: Zenodo, 2019.

**STUDY OF FUNDAMENTAL MACROSCOPIC
CHARACTERISTICS OF TRAFFIC FLOWS
BY WAVELET ANALYSIS OF AUDIO SIGNALS**

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

Samara University,
Moskovskoe shosse 34,
Samara, 443086

golovnin@ssau.ru

The paper proposes an approach to the study of the traffic flow characteristics by wavelet analysis of audio signals, which makes it possible to build fundamental macroscopic models of traffic flows with the possibility of dividing by types of vehicles.

Keywords: *Transport stream, wavelet analysis, audio signal, macroscopic model*

References

- [1] Drew D.R. Traffic flow theory and control. 1968. – 467 p.
- [2] Zefreh M.M., Torok A. Single loop detector data validation and imputation of missing data // Measurement. 2018. Vol. 116. – P. 193–198.
- [3] Yang B., Guo Y., Xu C. Analysis of freeway secondary crashes with a two-step method by loop detector data // IEEE Access. 2019. – Vol. 7. – P. 22884–22890.
- [4] Fedorov A., Nikolskaia K., Ivanov S., Shepelev V., Minbaleev A. Traffic flow estimation with data from a video surveillance camera // Journal of Big Data. 2019. – Vol. 6(1). – P. 1–15.
- [5] Wang L., Wang Y., Bie Y. Automatic estimation method for intersection saturation flow rate based on video detector data // Journal of Advanced Transportation. 2018. – P. 8353084.
- [6] Lefebvre N., Chen X., Beuseroy P., Zhu M. Traffic flow estimation using acoustic signal // Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2017. Vol. 64. – P. 164-171.
- [7] Gatto R.C., Forster C.H.Q. Audio-Based Machine Learning Model for Traffic Congestion Detection // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2020. – P. 1–8.
- [8] Golovnin O., Privalov A., Stolbova A., Ivaschenko A. Audio-Based Vehicle Detection Implementing Artificial Intelligence // Studies in Systems, Decision and Control. 2020. Vol. 337. P. 627–638.
- [9] Golovnin O., Stolbova A., Ostroglazov N. An Analysis of Road Traffic Flow Characteristics Using Wavelet Transform // Studies in Systems, Decision and Control. 2019. Vol. 199. P. 433–445.
- [10] Zinemanas P., Cancela P., Rocamora M. MAVD-traffic dataset (Version 0.1.0). Presented at the Workshop on Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events (DCASE 2019 Workshop), New York, USA: Zenodo, 2019.