

УДК 004.94:624.13

**РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ
МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ АКСЕЛЕРОМЕТРА**Баданис К.Е.¹, аспирант гр. 12002396, II курс,Фирсов Н.Ю.¹, аспирант гр. 12002496, I курсНаучный руководитель: Шамраев А.А.¹, к.т.н., доцент¹Белгородский государственный национальный исследовательский
университет
г. Белгород

Состояние дорожного покрытия (далее – ДП) напрямую влияет на безопасность дорожного движения, износ транспортных средств (далее – ТС) и экономические затраты на содержание дорожной инфраструктуры городской агломерации [1,2]. Традиционные методы мониторинга, основанные на периодических инспекциях и визуальном осмотре, характеризуются низкой частотой обновления данных и высокой стоимостью [3]. В условиях роста интенсивности транспортного потока и ускоренного износа ДП возникает необходимость в автоматизированных системах, способных обеспечивать непрерывный мониторинг состояния ДП.

В данном исследовании предложена авторская имитационная модель, разработанная в кроссплатформенной среде – Unity, которая интегрирует физическую симуляцию движения ТС и сбор следующих данных: сигналы виртуального акселерометра, местоположение ТС в пространстве и время фиксации данных. Целью исследования является создание универсального инструмента для оценки качества дорожной поверхности, основанного на анализе динамики ускорений ТС.

Актуальность исследования обусловлена следующими факторами:

- технические ограничения традиционных методов: визуальные инспекции проводятся раз в несколько месяцев, что приводит к задержкам в обнаружении дефектов и увеличению их масштаба;
- экономические потери: дорогостоящие ремонтные мероприятия часто планируются поздно, что сокращает срок службы ДП;
- требования к безопасности: неровности ДП повышают риск аварий, а также ускоряют износ подвески ТС;
- развитие IoT-технологий: датчики и различные системы позволяют автоматизировать сбор и анализ данных, но их практическая реализация требует апробации в условиях, близких к реальным [4].

Применение имитационной модели позволит минимизировать риски экспериментов в реальных условиях и оптимизировать разрабатываемые алгоритмы, модели и методы мониторинга ДП.

Задачи исследования включают в себя разработку физически обоснованной симуляции движения ТС по дороге с дефектами в Unity, а также реализацию модуля сбора данных (время, местоположение, ускорения).

Симуляция построена в Unity с использованием физического движка PhysX, который обеспечивает расчет взаимодействия ТС с дорогой (рисунок 1).



Рисунок 1. Имитационная модель Unity

Модель имеет следующие параметры:

- геометрия дороги: плоская поверхность с встроенными выбоинами (глубиной 0.05-0.2 м, длиной 0.5-1.0 м);
- ТС: настраиваемые характеристики массы (1500 кг), жесткости подвески (коэффициент упругости 10000 Н/м), демпфирования (коэффициент 1000 Нс/м);
- акселерометр: симулирует датчик на борту ТС, фиксирующий ускорения по осям X (поперечное), Y (вертикальное) и Z (продольное).

В экспериментах использовались 20 сценариев движения с различными скоростями (от 15 до 80 км/ч) и способами наезда на выбоины. На рисунке 2 представлены примеры наезда ТС на выбоины.



Рисунок 2. Примеры наезда ТС на выбоины

В модели осуществляется потоковый сбор данных. В csv-файл с частотой 100 Гц записываются следующие параметры: время фиксации (T), координаты (X, Y, Z), ускорения (A_x, A_y, A_z).

В таблице 1 представлена структура выходного csv-файла.

Таблица 1. Структура csv-файла

Time	PositionX	PositionY	PositionZ	AccelerationX	AccelerationY	AccelerationZ
5.7600	-15.5182	0.1661	-28.6513	0.4572	0.0003	-0.0001
5.8200	-15.4841	0.1661	-28.6530	0.6235	0.0004	-0.0358
6.0200	-15.3032	0.1662	-28.6783	1.1173	0.0002	-0.2297
6.6400	-14.0565	0.1662	-28.8439	2.8343	0.0000	-0.3589
6.7800	-13.6273	0.1662	-28.8916	3.2372	0.0000	-0.3513

После формирования выходного csv-файла проводится предобработка сигналов ускорений. В-первую очередь, требуется вычислить среднее значение (\bar{a}) для каждого акселерометра и затем стандартное отклонение вертикального ускорения (s). На следующем шаге выбирается эталонный акселерометр – датчик, показавший наиболее стабильные результаты в момент имитационных тестовых заездов (\bar{a}^*, s^*).

Затем для каждого акселерометра применяется калибровочная формула, которая позволяет привести значения ускорений к эталонным [5]:

$$a_{new} = \frac{a_{old} - \bar{a}}{s} \cdot s^* + \bar{a}^*$$

где a_{old} – исходное значение ускорения; s^* – стандартное отклонение и \bar{a}^* – среднее значение ускорения для эталонного акселерометра.

Для минимизации влияния шумов в сигналах акселерометра используется комбинация программно реализованных фильтров, которые представляют собой отдельную модель обработки сигналов акселерометра.

На заключительном этапе обработки осуществляется классификация состояния ДП с использованием алгоритмов нечеткой логики, что обеспечивает сотрудников дорожных служб мониторинговой информацией в реальном времени. Это в свою очередь, позволяет формировать рекомендации по своевременному планированию и проведению ремонта [6].

В заключении стоит отметить, что разработанная имитационная модель Unity, а также модуль сбора данных (время, местоположение, ускорения) позволяет снизить риски экспериментов в реальных условиях и оптимизировать разрабатываемые алгоритмы, модели и методы мониторинга ДП. На данный момент ведется работа над программной реализацией визуализации результатов работы модели классификации состояния ДП.

Список литературы:

1. Ершов М. М. Авторский надзор-элемент системы контроля качества строительства автомобильных дорог //Актуальные вопросы

проектирования автомобильных дорог. Сборник научных трудов ОАО ГИПРОДОРНИИ. – 2010. – №. 1. – С. 268-277.

2. Буртыль Ю. В. Обоснование проведения ремонтов автомобильных дорог на основании динамики изменения их эксплуатационного состояния : дис. – 2013.

3. Бендер О. А. Оценка и прогнозирование рисков в системе инструментального контроля транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог : дис. – Новосибирск, 2013, 2013.

4. Баданис К. Е. Технология Big Data и искусственный интеллект в управлении автомобильным трафиком //XXXVII Международная научно-практическая конференция «Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации», г. Пенза, 25 июня 2024 г. – ISBN 978-5-00236-431-2. – С. 73-77.

5. Brunauer R., Rehr K. Supporting road maintenance with in-vehicle data: Results from a field trial on road surface condition monitoring //2016 IEEE 19th international conference on intelligent transportation systems (ITSC). – IEEE, 2016. – С. 2236-2241.

6. Liu, Z.; Gu, X.; Ren, H. Rutting prediction of asphalt pavement with semi-rigid base: Numerical modeling on laboratory to accelerated pavement testing. Constr. Build. Mater. 2023, 375, 130903.