

Аспірант Болгов І. М.; кандидат техн. наук, доц. Клятченко Я. М.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СПЕЦІАЛІЗОВАНІ КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ЗБОРУ ТА АНАЛІЗУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛІСНОЇ ТЕХНІКИ

Abstract

I. B. Bolhov; Y. M. Klyatchenko

*Specialized computer tools for collecting and analyzing the performance
characteristics of wheeled vehicles*

Accurate measurement of tire forces and deformations is essential for developing reliable tire models and understanding vehicle dynamics. Efficient storage and management of multi-channel telemetry data are critical, and the modified EDF+ format provides advantages for dynamic testing by allowing continuous data recording and reducing post-processing errors. This integrated approach supports the creation of precise tire models and the advancement of vehicle monitoring systems.

Вступ

Отримання достовірних експлуатаційних даних транспортного засобу є ключовим етапом у моделюванні динаміки колісної техніки. Шини визначають взаємодію автомобіля з покриттям, тому точність вимірювань сил і деформацій, що виникають під час руху, безпосередньо впливають на точність математичних моделей взаємодії шин з дорожнім покриттям.

Для забезпечення необхідної точності вимірювань у реальних умовах експлуатації використовуються спеціалізовані вимірювальні системи, до складу яких входять сенсори, електронні модулі обробки сигналів і комп'ютерні засоби збору та збереження даних. Такі системи дають змогу фіксувати динамічні навантаження на шину, проводити попередню обробку сигналів і формувати структуровані дані для подальшого аналізу.

Розвиток комп'ютерних засобів збору та аналізу даних, зокрема методів інтелектуальної обробки сигналів та збереження інформації, відкриває нові можливості для підвищення точності та надійності отриманих результатів, що є важливим завданням у сучасних дослідженнях автомобільної динаміки.

Вимірювання сил, діючих на шину

Формування моделі транспортного засобу потребує значного обсягу експериментальних даних, отриманих у реальних умовах експлуатації. Збір таких даних можна розділити на два основні етапи: отримання інформації з вимірювальних сенсорів та подальше їх збереження і обробка для аналізу характеристик руху. Для дослідження силових впливів, навантажень і деформацій конструктивних елементів автомобіля використовуються різноманітні сенсорні технології.

Одним із найбільш поширених пристроїв для вимірювання механічних навантажень є тензометричні датчики. Принцип дії датчика базується на зміні електричного опору провідника під впливом деформації. Коли елемент конструкції зазнає навантаження, тензорезистивний елемент — тонкий дріт або фольга — розтягується чи стискається, що змінює їх опір [1]. Зміна опору фіксується електронною вимірювальною схемою, наприклад мостом Уїтстона, яка перетворює сигнал у напругу. Далі мікропроцесор обробляє отримані дані, визначаючи величину прикладеної сили або деформації.

Таким чином, використання тензометричних сенсорів дає змогу точно реєструвати механічні навантаження та деформації в елементах транспортних систем, що є ключовим фактором для побудови систем контролю стану.

Обробка сенсорних сигналів в русі

Однією з типових проблем при обробці даних, отриманих з рухомого транспортного засобу, є вплив вібрацій, які викликають появу шумів і спотворень у сигналах сенсорів. Забезпечення завадостійкості вимірювальних систем має ключове значення, адже на результати можуть суттєво впливати механічні коливання, удари, а також електромагнітні перешкоди.

Завадостійкість може бути реалізована на декількох рівнях, як за допомогою механічної фільтрації сигналів, так і з використанням електронних фільтрів перетворення. Одним із найпростіших способів зменшення впливу шумів є механічна ізоляція або демпфування, що досягається застосуванням матеріалів, здатних поглинати вібрації у конструкції сенсора. Проте більш ефективним і гнучким методом вважається електронна фільтрація сигналу. Використання фільтрів низьких частот дозволяє пригнічувати високочастотні коливання, що виникають під час руху, та отримувати усереднені значення сигналів за задані часові інтервали.

Електронна фільтрація може реалізовуватися як апаратно — безпосередньо у вимірювальному модулі, так і програмно — під час обробки отриманих даних. Такий підхід дає змогу підвищити точність

аналізу динамічних характеристик транспортного засобу без необхідності внесення змін у конструкцію сенсорів або вимірювальних систем.

Комп'ютерні засоби збору та збереження даних телеметрії

Збереження експериментальних даних, отриманих під час випробувань колісної техніки, здійснюється із застосуванням спеціалізованих апаратно-програмних засобів. Такі засоби розробляються з урахуванням характеристик випробувального середовища — зокрема, частоти дискретизації, обсягу інформації та вимог до синхронізації. На рисунку 1 наведено узагальнену схему стандартної системи автомобільної телеметрії.

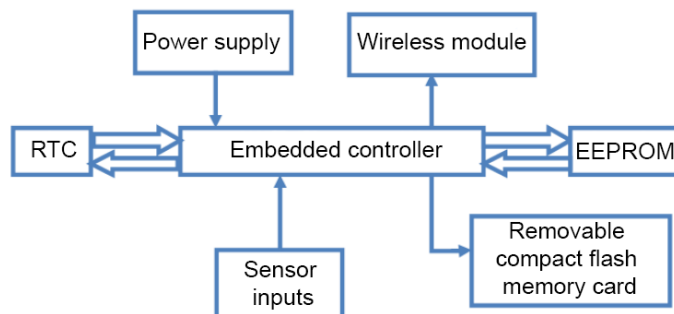


Рис 1. Стандартна система телеметрії

У наведеній конфігурації сенсори передають сигнали до вбудованого контролера, який виконує первинну обробку даних. Модуль реального часу (RTC) забезпечує синхронізацію часових міток і запис інформації у лог-файл, що зберігається на зовнішньому носії [2]. Формат файлу задається заздалегідь відповідно до вимог системи зберігання та подальшої обробки інформації. Існуючі формати логування поділяються на текстові та бінарні. Текстова форма запису простіша для безпосереднього аналізу даних, але вимагає зберігання додаткової інформації: роздільників та позначок часу.

Бінарні формати, такі як MDF (Measurement Data Format), дають змогу реалізувати ієрархічну багатоканальну структуру даних і забезпечують ефективне стиснення без втрати інформації. Кожен канал, який відповідає окремому сенсору, може мати власну частоту дискретизації та набір метаданих, що визначають параметри запису. Однак складна структура MDF-файлів може ускладнювати їх застосування у випадках, коли обсяг даних невеликий або запис здійснюється в умовах обмежених ресурсів системи.

З огляду на зазначені обмеження, зокрема об'ємність MDF структури та необхідність використання спеціалізованих бібліотек доступу до файлів, доцільно розглянути альтернативні формати зберігання даних, зокрема EDF (European Data Format), який традиційно використовується для запису багатоканальних біомедичних сигналів — таких як ЕЕГ та ЕКГ. EDF-файли

мають простішу структуру: на початку запису зберігаються метадані (дата, час, кількість каналів, назви сигналів, частоти дискретизації, коефіцієнти масштабування), після чого — бінарні дані сигналів [3]. Версія EDF+ підтримує запис анотацій у будь-який момент протягом випробування, що дозволяє позначати події, які можуть вплинути на зміну даних. Недоліком цього формату є відсутність можливості дозапису після завершення сесії, що обмежує його використання в задачах з невизначеною тривалістю експерименту — таких, як випробування колісної техніки.

Створення нової специфікації EDF+ формату з реалізацією дозапису експериментальних даних дозволить дотримуватись принципу організації «один файл для одної тестової сесії», що усуває потребу у подальшому об'єднанні кількох фрагментів експерименту [4].

Механізм дозапису даних у файл формату EDF потребує врахування особливостей його структури, оскільки формат передбачає фіксований заголовок та послідовне зберігання даних у вигляді однакових за структурою блоків. EDF не підтримує довільну модифікацію вже записаних фрагментів, тому дозапис може здійснюватися виключно шляхом додавання нових блоків у кінець файлу. Після створення хедера розміром $256 + 256 \cdot N$ байт (де N — кількість сигналів), усі подальші дані зберігаються у вигляді послідовних блоків фіксованої структури. Таким чином, дозапис можливий лише за умови, що параметри сигналів залишаються незмінними.

На першому етапі дозапису програма зчитує хедер для визначення кількості сигналів, структури сигнальних підзаголовків та розрахунку загального розміру одного блоку. Далі виконується переміщення файлового курсора у кінець файлу та послідовний запис нових блоків даних, кожен із яких повинен містити повний набір значень для всіх каналів. Неповний або частковий запис окремих сигналів неприпустимий, оскільки призведе до невідповідності структурі EDF і робить файл непридатним для подальшої інтерпретації.

Збереження інформації в один файл збільшує надійність при експорті даних за рахунок мінімізації кількості операцій з файлами, усуває можливість виникнення помилок під час злиття та зменшує ризик помилок при постобробці отриманих результатів. Організація даних у модифікованому EDF+ форматі має важливе практичне значення у контексті розробки спеціалізованих комп'ютерних засобів: вона спрощує архітектуру програмного забезпечення, знижує вимоги до обчислювальних ресурсів у польових умовах та підвищує стійкість системи до відмов під час тривалих випробувань колісної техніки. У підсумку, це забезпечує більш ефективний збір та подальшу інтерпретацію експлуатаційних характеристик транспортного засобу.

Висновок

Використання тензометричних сенсорів забезпечує отримання достовірних експлуатаційних характеристик у реальних умовах руху. Застосування комплексних методів обробки сигналів і ефективної фільтрації дозволяє мінімізувати вплив шумів і підвищити точність вимірювань. Водночас етап збереження даних має ключове значення для подальшого аналізу та моделювання.

Запропонована в межах програмного забезпечення системи збору даних модифікація формату EDF+, що передбачає можливість дозапису інформації в файл без завершення сесії під час проведення випробувань, дозволяє уникнути необхідності об'єднання декількох часткових записів у єдиний файл, спрощує процес збору даних і підвищує надійність збереження експериментальної інформації.

Розширені можливості модифікованого EDF+ формату роблять його придатним для динамічних випробувань колісної техніки, де тривалість сесії зазвичай не визначається наперед. Це створює передумови для побудови більш точних шинних моделей і вдосконалення систем моніторингу автомобільної динаміки на основі повних, неперервно записаних експериментальних даних.

Література

1. Tuononen, A.J. (2009). Vehicle lateral state estimation based on measured tyre forces. *Sensors*, 9(11), 8761-8775. doi: 10.3390/s91108761.
2. Chandiramani, J.R., Bhandari, S., & Hariprasad, S.A. (2014). Vehicle data acquisition and telemetry. In *Proceedings of the 2014 fifth international conference on signal and image processing* (pp. 187-191). Bangalore: IEEE. doi: 10.1109/ICSIP.2014.35.
3. Kemp, B., & Olivan, J. (2003). European data format “plus” (EDF+), an EDF alike standard format for the exchange of physiological data. *Clinical Neurophysiology*, 114(9), 1755-1761. doi: 10.1016/S1388-2457(03)00123-8.
4. Bolhov, I., & Klyatchenko, Ya. (2025). Effectiveness of computer-based tyre modelling tools based on an embedded telemetry controller. *Information Technologies and Computer Engineering*, 22(2), 132-143. doi: 10.31649/vitce/2.2025.132