

Giải pháp giám sát tình trạng kỹ thuật động cơ phun dầu điện tử cho đoàn xe buýt

Hồ Nam Hoa^{1,2}, Trần Đăng Long^{1,2,*}, Đinh Quốc Trí^{1,2}, Vũ Việt Thắng^{1,2}, Trần Quang Lâm^{1,2}, Nguyễn Vĩnh Hào^{3,2}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

¹Khoa Kỹ thuật Giao thông, Trường Đại học Bách khoa TP.HCM, Việt Nam

²Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

³Khoa Điện-Điện tử, Trường Đại học Bách khoa TP.HCM, Việt Nam

Liên hệ

Trần Đăng Long, Khoa Kỹ thuật Giao thông, Trường Đại học Bách khoa TP.HCM, Việt Nam

Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: trandanglong@hcmut.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 05-8-2023
- Ngày sửa đổi: 8-10-2023
- Ngày chấp nhận: 6-8-2025
- Ngày đăng: 15-10-2025

DOI:

<https://doi.org/10.32508/stdjet.v8i4.1134>



Bản quyền

© ĐHQG TP.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



TÓM TẮT

Bài báo này trình bày một thiết kế hệ thống thu thập thông số vận hành của động cơ phun dầu điện tử EURO 4 cho đoàn xe buýt theo thời gian thực trên nền tảng IoT, và phương pháp luận để giám sát tình trạng kỹ thuật của động cơ từ thông số vận hành được ghi nhận. Hệ thống được thiết kế với 03 bộ phận chính, bao gồm bộ ghi dữ liệu vận hành của động cơ được lắp trên mỗi xe, máy chủ cục bộ (local server) đặt tại bến xe tiếp nhận dữ liệu vận hành trong ngày của các xe qua mạng Wi-Fi mỗi khi xe về bến, và máy chủ web (web server) lưu trữ dữ liệu vận hành của toàn bộ đoàn xe và cung cấp các ứng dụng trực tuyến để khai thác dữ liệu. Bằng giải pháp kết hợp máy chủ cục bộ và máy chủ web, hệ thống cho phép giảm chi phí vận hành và tăng độ tin cậy khi dữ liệu vận hành được đồng thời lưu trữ ở hai máy chủ. Một hệ thống hoàn chỉnh đã được chế tạo thử nghiệm và kiểm tra hoạt động trong môi trường thực tế. Dữ liệu vận hành của động cơ được xe buýt làm việc ghi nhận chính xác, tin cậy, và ổn định. Kết quả của nghiên cứu là nền tảng kỹ thuật để dự báo chiều hướng hư hỏng các cảm biến, các phần tử chấp hành, và các bộ phận cơ khí ở động cơ xe buýt, giúp đề ra kế hoạch bảo trì động cơ phù hợp cho cả đoàn xe, đồng thời cung cấp lịch sử vận hành để phục vụ quá trình chẩn đoán và sửa chữa từng động cơ.

Từ khóa: Quản lý đoàn xe buýt, động cơ phun dầu điện tử EURO 4, chẩn đoán tự động, dữ liệu vận hành, bảo trì dự phòng, IoT.

GIỚI THIỆU

Theo qui định của Cục Đăng Kiểm Việt Nam, các ô tô nói chung và xe buýt nói riêng dùng động cơ diesel được bán mới trên thị trường Việt Nam từ ngày 1/1/2018 đều phải đạt tiêu chuẩn khí thải tương đương EURO (cụ thể: $CO \leq 0,5$ g/km, $NOx \leq 0,25$ g/km, $HC + NOx \leq 0,3$ g/km và muội than (PM) $\leq 0,025$ g/km). Để đáp ứng yêu cầu này, các động cơ diesel đạt tiêu chuẩn tương đương EURO 4 (sau đây gọi tắt là động cơ diesel EURO 4) được nhà sản xuất trang bị các hệ thống phun dầu kiểu thanh tích áp (CR) điều khiển bằng máy tính. Nhằm phát hiện những hư hỏng ở cảm biến và phần tử chấp hành của hệ thống điều khiển động cơ, giúp khắc phục kịp thời và tránh gây phát thải ô nhiễm vượt mức cho phép trong thời gian dài, hệ thống điều khiển động cơ diesel EURO 4 được trang bị tính năng tự chẩn đoán thế hệ 2 (OBD-II). Đây là tính năng được chuẩn hóa quốc tế từ năm 1996, bao gồm các qui chuẩn về phương pháp xác định và nhận dạng lỗi, đường truyền dữ liệu, giao thức truyền dữ liệu, mã định danh lỗi (DTC). Bằng cách giám sát liên tục các thông số điều kiện vận hành và các thông số điều khiển, OBD-II tự phát hiện lỗi và đưa ra cảnh báo cho người lái. Tuy nhiên, OBD-II chỉ có thể đưa

ra cảnh báo lỗi sau khi xác nhận lỗi này đã xảy ra trong hai lần vận hành liên tiếp của động cơ. OBD-II không được thiết kế để theo dõi sự thay đổi dần dần ở cảm biến và phần tử chấp hành trước khi xảy ra lỗi hư hỏng. Ngoài ra, OBD-II không thể nhận biết những hư hỏng ở các bộ phận cơ khí làm sai lệch thông tin đo từ cảm biến hay làm sai lệch chức năng của phần tử chấp hành.

Từ thực tế nêu trên, nhu cầu về một hệ thống giám sát kỹ thuật động cơ phun dầu điện tử EURO 4 cho đoàn xe buýt với các chức năng sau đây là rất cần thiết:

- Tự động thu thập thông số điều kiện vận hành và thông số điều khiển động cơ theo thời gian thực.
- Tự động chọn lọc và lưu trữ các thông số theo những điều kiện vận hành khác nhau của động cơ để giảm kích thước dữ liệu, giảm chi phí phần cứng lưu trữ.
- Tự động truyền thông số của động cơ về trung tâm quản lý qua mạng không dây nhằm giảm chi phí nhân công và các sai sót do thao tác của con người.
- Tự động giám sát sự thay đổi theo thời gian của các thông số.

Trích dẫn bài báo này: Hoa H N, Long T D, Trí D Q, Thắng V V, Lâm T Q, Hào N V. **Giải pháp giám sát tình trạng kỹ thuật động cơ phun dầu điện tử cho đoàn xe buýt.** *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.* 2025; 8(4):2647-2654.

- Dự báo khả năng xuất hiện lỗi và đưa ra cảnh báo sớm.

Với hệ thống giám sát này, đơn vị điều hành đoàn xe buýt có thể dự báo lỗi sắp xảy ra cho mỗi xe, lập kế hoạch và chi phí kiểm tra, bảo dưỡng, sửa chữa để ngăn chặn lỗi kịp thời; qua đó, đảm bảo sự vận hành liên tục của đoàn xe, nâng cao tỉ lệ xe sẵn sàng làm việc và hiệu quả kinh tế của đoàn xe. Ngoài ra, lịch sử thông số điều kiện vận hành và thông số điều khiển ở từng chế độ làm việc của động cơ được lưu trữ ở máy chủ còn phục vụ hiệu quả công tác chẩn đoán và khắc phục lỗi.

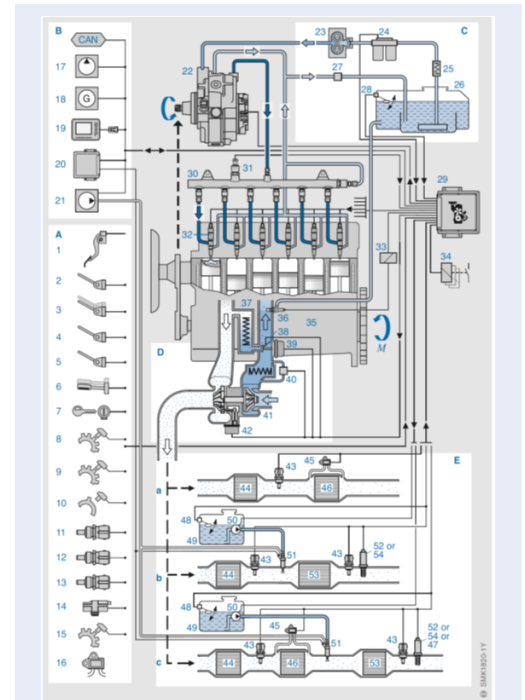
Các nhóm nghiên cứu trong và ngoài nước đã và đang tập trung vào ứng dụng trí tuệ nhân tạo để phát hiện lỗi đã xảy ra ở các hệ thống trên động cơ và ô tô¹⁻⁸. Các phần mềm thương mại quản lý đoàn xe cũng đã được phát triển và sử dụng rộng rãi ở các nước để giám sát hoạt động của đoàn xe như thói quen chạy xe của người lái, số lần xe dừng và chạy, tốc độ lưu thông, lịch sử hành trình, lượng nhiên liệu tiêu thụ, và đưa ra cảnh báo bảo dưỡng dựa trên thời gian vận hành của xe⁹. Tuy nhiên, vấn đề giám sát chiều hướng thay đổi của thông số vận hành và cảnh báo sớm lỗi ở đoàn xe chưa nhận được nhiều sự quan tâm.

Bài báo này trình bày một thiết kế hệ thống thu thập thông số vận hành của động cơ phun dầu điện tử EURO 4 cho đoàn xe buýt theo thời gian thực trên nền tảng IoT, và phương pháp luận để giám sát tình trạng kỹ thuật của động cơ từ thông số vận hành được ghi nhận. Các nội dung chính của bài báo bao gồm: Dữ liệu vận hành cần được giám sát của động cơ phun dầu điện tử dùng trên xe buýt; Phương án để đưa dữ liệu vận hành của đoàn xe về máy chủ web; và Thiết kế kỹ thuật chi tiết các phần của hệ thống thu thập dữ liệu vận hành.

PHƯƠNG PHÁP LUẬN XÁC ĐỊNH DỮ LIỆU VẬN HÀNH CẦN GIÁM SÁT CỦA ĐỘNG CƠ PHUN DẦU ĐIỆN TỬ DÙNG TRÊN XE BUÝT

Các động cơ diesel cho xe buýt đạt tiêu chuẩn khí thải từ EURO 4 thường sử dụng hệ thống phun dầu điện tử kiểu thanh tích áp (common-rail) có sơ đồ nguyên lý tổng quát được trình bày ở Hình 1.

Hệ thống cung cấp nhiên liệu cho động cơ được chia làm hai phần, mạch nhiên liệu áp suất thấp và mạch nhiên liệu áp suất cao. Trong đó, mạch nhiên liệu áp suất thấp bao gồm thùng nhiên liệu (26), bơm tiếp vận (23), lọc tách nước tích hợp cảm biến áp suất (24), van giảm áp (27), và các đường ống nhiên liệu áp suất thấp. Mạch nhiên liệu áp suất cao với áp suất làm việc có thể



Hình 1: Sơ đồ nguyên lý tổng quát hệ thống phun dầu điện tử dùng trên xe buýt đạt tiêu chuẩn khí thải từ EURO 4.¹⁰

điều chỉnh trong khoảng 500-1600 bar bao gồm bơm cao áp có van điều chỉnh lưu lượng (22), thanh tích áp (30), vòi phun điện khiển bằng điện (32), và các đường ống nhiên liệu áp suất cao. Nhiên liệu thừa ở mạch nhiên liệu áp suất cao được đưa về thùng nhiên liệu qua mạch nhiên liệu áp suất thấp.

Để tăng tỉ số công suất/thể tích động cơ, hệ thống tăng áp dẫn động bằng năng lượng dòng khí thải (turbocharger) được sử dụng, bao gồm cụm tua-bin và máy nén (41), bộ làm mát khí nạp (40), và van điều khiển áp suất tăng áp (42).

Khí thải NOx hình thành trong buồng cháy được khống chế bằng hệ thống hồi lưu khí thải (EGR) với van hồi lưu khí thải điều khiển bằng điện (39), và lượng NOx dư trong ống thải được khử trong bộ xúc tác (53) bằng dung dịch u-rê (54). Muội than sinh ra trong buồng cháy được tích lũy vào bộ lọc (46) để không thoát ra ngoài môi trường. Bộ lọc này được tái sinh mỗi khi gần đầy bằng dòng khí thải nhiệt độ cao dựa vào tín hiệu chênh lệch áp suất khí thải qua bộ lọc (45). Bộ xúc tác ô-xi hóa (44) cũng được dùng để đốt sạch lượng CO và HC còn sót trong khí thải. Các cảm biến nhiệt độ khí thải (43), thành phần NOx (52), thành phần NH₃ (54), và thành phần muội than (47) có thể được sử dụng để điều khiển giảm phát thải ô nhiễm hiệu quả.

Máy tính điều khiển động cơ (ECU) (29) tính toán và điều khiển các thông số làm việc của quá trình cung cấp nhiên liệu bao gồm áp suất phun nhiên liệu, thời điểm phun và lượng nhiên liệu cần phun ở mỗi xi-lanh, để động cơ sinh ra mô-men với hiệu suất năng lượng cao, êm dịu, và đáp ứng nhanh theo yêu cầu vận hành của xe. ECU thu nhận thông tin về điều kiện vận hành của động cơ từ các cảm biến quan trọng như cảm biến vị trí bàn đạp chân ga (1), tốc độ quay của trục khuỷu và trục cam (9, 10), nhiệt độ nước làm mát (12), nhiệt độ và áp suất tăng áp (13, 14), và áp suất thanh tích áp (31). Ngoài ra, ECU còn thu nhập thông tin về điều kiện vận hành của xe qua các cảm biến về trạng thái của hệ thống truyền lực (2 và 6) và hệ thống phanh (2-5).

Nhờ sự kết hợp của hệ thống phun dầu áp suất cao với các giải pháp xử lý riêng rẽ cho từng thành phần khí thải, động cơ diesel dùng trên xe buýt có thể đạt tiêu chuẩn khí thải EURO 4 và cao hơn.

Các hư hỏng hoàn toàn ở cảm biến, phần tử chấp hành, giắc nối, dây điện và ECU dẫn đến các triệu chứng rõ ràng ở động cơ như khó khởi động, nổ cầm chừng không êm, khó tăng tốc, nhiều khói đen, và tiêu hao nhiều nhiên liệu. Trong khi đó, các hư hỏng nhẹ như cảm biến đo sai, các phần tử chấp hành và các bộ phận cơ khí bị hao mòn hay tắc nghẽn hay bó kẹt một phần, thường không thể hiện thành các triệu chứng rõ ràng nhưng vẫn làm động cơ dần dần tiêu hao nhiên liệu và phát thải ô nhiễm nhiều hơn. Đặc biệt, hư hỏng nhẹ về cơ khí ở các vị trí gần cảm biến sẽ làm thông tin từ cảm biến không phản ánh đúng điều kiện vận hành của động cơ, kéo theo các giá trị điều khiển bị sai lệch, ngoài ra, còn dẫn tới kết luận nhầm cảm biến và phần tử chấp hành là nguồn gốc hư hỏng khi tiến hành chẩn đoán. Các hư hỏng nhẹ không được phát hiện sớm sẽ dẫn đến hư hỏng nặng, tốn chi phí sửa chữa.

Tình trạng kỹ thuật của các cảm biến, phần tử chấp hành, và các bộ phận cơ khí của động cơ được kết luận thông qua việc so sánh sự thay đổi các thông tin đặc trưng của chúng ở cùng trạng thái vận hành của động cơ và xe. Với mỗi động cơ diesel phun dầu điện tử, các trạng thái vận hành chính của động cơ bao gồm: không nổ máy, khởi động, làm nóng, nổ cầm chừng, yêu cầu tăng tốc nhanh, yêu cầu giảm tốc nhanh, tốc độ ổn định thấp, trung bình, và cao tương ứng với các mức tải thấp, trung bình, và cao. Các thông tin được xác định trực tiếp từ các cảm biến như vị trí bàn đạp ga, tốc độ động cơ, và nhiệt độ nước làm mát, cùng với các thông tin được xác định gián tiếp từ các cảm biến như tốc độ đạp và nhả bàn đạp ga, gia tốc động cơ, và mức tải thường được ECU sử dụng để xác định trạng thái làm việc của động cơ. Trạng thái vận hành

của xe được ECU xác định thông qua tốc độ và gia tốc của xe, trạng thái của ly hợp và phanh, và yêu cầu công suất của phụ tải.

Ở mỗi trạng thái vận hành của động cơ và xe, tình trạng kỹ thuật của các hệ thống phun dầu điện tử, hệ thống tăng áp, và hệ thống xử lý khí thải được phản ánh qua các thông số về tình trạng hoạt động đo từ cảm biến như nhiệt độ, áp suất, và vị trí van, và các thông số điều khiển hoạt động do ECU tính toán như thời điểm điều khiển, lưu lượng, độ mở van, điện áp điều khiển.

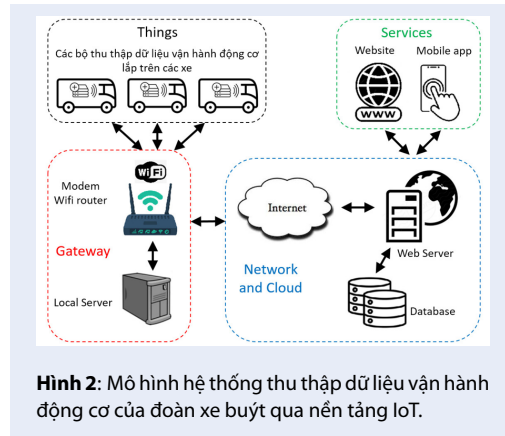
Như vậy, ba nhóm thông số vận hành quan trọng của động cơ diesel phun dầu điện tử bao gồm: 1-thông số trạng thái vận hành của động cơ và xe, 2-thông số tình trạng hoạt động của các hệ thống chức năng trên động cơ, và 3-thông số điều khiển hoạt động của các hệ thống chức năng này. Dữ liệu vận hành cần giám sát là các đặc trưng của mỗi thông số, bao gồm giá trị độ lớn và giá trị biến thiên. Ở mỗi trạng thái vận hành của động cơ và xe, đặc trưng của mỗi thông số và tương quan đặc trưng giữa các thông số cho phép phát hiện sự thay đổi tình trạng kỹ thuật và dự báo nguy cơ hư hỏng của cảm biến, phần tử chấp hành và bộ phận cơ khí trên động cơ.

Các dữ liệu vận hành là giá trị độ lớn của các thông số được thu thập từ trực tiếp ECU của động cơ qua giao tiếp CAN¹¹, và được gọi là dữ liệu đo. Các dữ liệu vận hành là giá trị biến thiên của các thông số và tương quan đặc trưng giữa các thông số được gọi là dữ liệu tính toán.

PHƯƠNG PHÁP THU THẬP VÀ ĐƯA DỮ LIỆU VẬN HÀNH CỦA ĐỘNG CƠ VỀ MÁY CHỦ WEB

Hình 2 mô tả mô hình hệ thống thu thập dữ liệu vận hành động cơ của xe buýt qua nền tảng IoT được đề xuất. Hệ thống bao gồm các bộ ghi dữ liệu vận hành động cơ từ hệ thống OBD-II của từng xe, máy chủ cục bộ đặt tại bến xe đóng vai trò là gateway để kết nối mạng LAN tại bến xe với mạng Internet, máy chủ web lưu trữ dữ liệu của các đoàn xe trên đám mây, và trang web hay ứng dụng trên điện thoại thông minh để tổng hợp, phân tích và báo cáo theo nhu cầu quản lý vận hành giúp quản lý tình trạng kỹ thuật của mỗi đoàn xe. Các bộ ghi dữ liệu vận hành của động cơ kết nối với máy chủ cục bộ qua mạng LAN với đường truyền Wi-Fi. Máy chủ cục bộ và trang web, ứng dụng trên điện thoại thông minh kết nối với máy chủ web qua mạng Internet.

Trong mô hình IoT này, các bộ ghi dữ liệu vận hành của động cơ chỉ ghi nhận và lưu trữ dữ liệu, không kết nối trực tiếp và gửi dữ liệu trực tiếp cho máy chủ web



qua mạng Internet. Các bộ ghi dữ liệu vận hành sẽ tự động kết nối mới máy chủ cục bộ mỗi khi về bến, gửi dữ liệu đo trong ngày từ động cơ cho máy chủ cục bộ. Máy chủ cục bộ sau đó gửi các dữ liệu đo nhận được cho máy chủ web. Máy chủ web xử lý và tạo ra các dữ liệu tính toán cho mỗi động cơ trong đoàn xe. Toàn bộ dữ liệu đo và dữ liệu tính toán hàng ngày của đoàn xe được lưu trữ, và được gọi là lịch sử dữ liệu vận hành của đoàn xe.

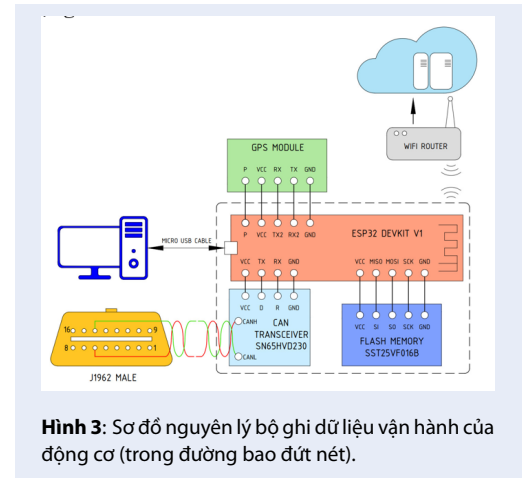
So với các mô hình IoT không dùng máy chủ cục bộ, trong đó các bộ ghi dữ liệu vận hành kết nối với thường trực với máy chủ web qua mạng di động 3G/4G/5G khi xe đang chạy trên đường hay chỉ kết nối với máy chủ web qua đường truyền Wi-Fi tại bến xe, mô hình IoT dùng máy chủ cục bộ làm gateway để xuất trong nghiên cứu này có chi phí vận hành thấp hơn do giảm chi phí thuê bao mạng, giảm băng thông và giảm tải máy chủ web. Ngoài ra, việc sử dụng máy chủ cục bộ còn giúp tăng tính bảo mật do giảm lượng truy cập trực tiếp vào máy chủ web, và cung cấp thêm một nơi lưu trữ dữ liệu đo dự phòng.

THIẾT KẾ KỸ THUẬT CHI TIẾT HỆ THỐNG THU THẬP DỮ LIỆU VẬN HÀNH ĐỘNG CƠ CỦA ĐOÀN XE BUÝT

Từ mô hình hệ thống thu thập dữ liệu vận hành động cơ của đoàn xe buýt đã trình bày ở Phần 3. **Phương pháp thu thập và đưa dữ liệu vận hành của động cơ về máy chủ web**, thiết kế chi tiết cho hệ thống này được mô tả như các nội dung sau đây.

Bộ ghi dữ liệu vận hành động cơ

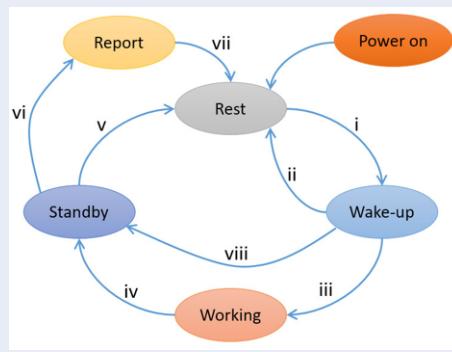
Như trình bày ở Hình 3, mạch xử lý ESP32 DEVKIT V1 được chọn làm bộ xử lý trung tâm do có năng lượng tiêu thụ thấp (dưới 100 mA) và tích hợp đồng thời nhiều chức năng kết nối mạng, bao gồm SPI,



I²C, UART, CAN, Bluetooth và Wi-Fi. Qua IC đệm đường truyền CAN SN65HVD230 và giắc kết nối J1962, ESP32 thực hiện giao tiếp với ECU của động cơ qua mạng CAN để lấy các thông số vận hành cần thiết. Dữ liệu sau đó được sàng lọc và lưu vào bộ nhớ flash SST25VF016B dung lượng 2 MB bằng giao tiếp nối tiếp SPI. Dung lượng bộ nhớ 2 MB đủ để lưu được toàn bộ các thông số vận hành trong 24 h làm việc liên tục của xe với chu kỳ ghi 5 s. Để có thể bắt kịp giá trị các thông số biến thiên khi chân ga thay đổi đột ngột, giải thuật ghi dữ liệu với chu kỳ linh hoạt theo chế độ vận hành của động cơ (0,2-5 s) cần được áp dụng, kết hợp với giải thuật nén dữ liệu phù hợp để lưu đủ dữ liệu của một ngày làm việc.

Ngoài ra, bộ ghi dữ liệu vận hành còn có mạch nguồn ổn áp biến đổi điện 24 VDC của hệ thống điện xe buýt thành 5 VDC cung cấp cho tất cả các linh kiện. Một module GPS có thể kết nối với bộ ghi dữ liệu qua giao tiếp nối tiếp UART để ghi nhận vị trí của xe tương ứng với điều kiện vận hành.

Bộ ghi dữ liệu vận hành hoạt động theo cơ chế của một máy trạng thái hữu hạn (FSM) với các trạng thái và điều kiện chuyển trạng thái được mô tả ở Hình 4. Ở trạng thái làm việc (*Working*), bộ ghi dữ liệu gửi đề nghị ECU cung cấp thông số mong muốn. Sau khi ECU phản hồi thông số được yêu cầu, bộ ghi dữ liệu gửi đề nghị cung cấp thông số tiếp theo. Quá trình đề nghị-phản hồi được lặp lại đến khi hết danh sách thông số cần ghi nhận. Dữ liệu sau khi sàng lọc thì được đóng gói thành từng file và lưu vào bộ nhớ flash. Khi phát hiện động cơ tắt máy, bộ ghi dữ liệu vào trạng thái chờ báo cáo (*Standby*), bắt đầu tìm kiếm và kết nối máy chủ cục bộ. Trường hợp xe đang đậu tại bến và kết nối thành công với máy chủ cục bộ, bộ ghi dữ liệu chuyển sang trạng thái báo cáo (*Report*) để gửi dữ liệu về máy chủ cục bộ. Nếu động cơ tắt máy nhưng



Hình 4: Các trạng thái làm việc của bộ ghi dữ liệu vận hành (kí hiệu bởi hình e-líp) và điều kiện chuyển trạng thái (kí hiệu bởi các chữ i–viii). **Power on**-Bộ ghi dữ liệu vừa được cấp nguồn điện và bắt đầu hoạt động; **Rest**-Trạng thái nghỉ của bộ ghi dữ liệu khi động cơ không được mở điện, không có tín hiệu trên CAN-bus, và không có dữ liệu để gửi về máy chủ cục bộ; **Wake up**-Bộ ghi dữ liệu được đánh thức khi động cơ được mở điện và bắt đầu truyền tín hiệu trên CAN-bus; **Working**-Bộ ghi dữ liệu ở trạng thái làm việc, liên tục giao tiếp với ECU động cơ để ghi nhận dữ liệu vận hành; **Standby**-Bộ ghi dữ liệu ở trạng thái chờ, khi động cơ không được mở điện, không có tín hiệu trên CAN-bus, nhưng có dữ liệu để gửi về máy chủ cục bộ; **Report**-Bộ ghi dữ liệu đang kết nối và gửi dữ liệu về máy chủ cục bộ. **i**-Sự kiện động cơ bắt đầu dữ liệu truyền trên CAN-bus; **ii**- và **iv**-Sự kiện phát hiện động cơ không còn truyền dữ liệu trên CAN-bus; **iii**-Sự kiện phát hiện tốc độ động cơ bắt đầu khác 0; **v**-Sự kiện hết thời gian tìm máy chủ cục bộ; **vi**-Sự kiện kết nối được thành công với máy chủ cục bộ; **vii**-Sự kiện kết thúc gửi dữ liệu về máy chủ cục bộ; **viii**-Sự kiện động cơ mới mở máy và có dữ liệu chưa được gửi về máy chủ cục bộ.

xe không đậu tại bến hay xe đang đậu tại bến nhưng máy chủ cục bộ bị tắt tạm thời, bộ ghi dữ liệu chuyển sang chế độ nghỉ (*Rest*) sau khi hết thời gian chờ phản hồi từ máy chủ cục bộ, và chờ đến khi động cơ được mở máy để chuyển sang trạng thái sẵn sàng làm việc (*Wake-up*).

Mỗi khi kết nối được mạng Wi-Fi tại bến, bộ ghi dữ liệu tự hiệu chỉnh đồng hồ thời gian thực để đảm bảo độ chính xác về thời gian của dữ liệu.

Khi lắp đặt bộ ghi dữ liệu, thông số mạng Wi-Fi và thông tin về xe như số VIN và biển số xe được cài đặt vào bộ ghi dữ liệu từ máy tính cá nhân.

Hình 6 giới thiệu một bộ ghi dữ liệu tiêu biểu sau khi chế tạo. Hình 8 biểu diễn các thông số trạng thái vận hành tiêu biểu của một xe buýt sử dụng động cơ phun dầu điện tử Weichai Euro 4 được thu thập bởi bộ ghi dữ liệu vận hành khi xe chạy trong giờ tan tầm.

Máy chủ cục bộ

Máy chủ cục bộ dùng giao thức websocket để thiết lập liên kết hai chiều với các bộ ghi dữ liệu trong đoàn xe, giúp tăng tính ổn định và tốc độ xử lý. Các file dữ liệu được lưu vào thư mục lưu trữ trong máy chủ cục bộ. Một chương trình thường trú tự động kiểm tra thư mục và gửi các file dữ liệu mới cho máy chủ web. Cơ chế lưu trữ dữ liệu hai giai đoạn này đảm bảo dữ liệu luôn được lưu trữ, ngay cả khi mất kết nối tạm thời giữa 2 máy chủ. Dữ liệu được lưu trữ trên máy chủ web phục vụ các công tác phân tích, quản lý tình trạng kỹ thuật của đoàn xe.

Máy chủ web

Máy chủ web có nhiệm vụ lưu trữ thông tin quản lý đoàn xe, dữ liệu vận hành của từng xe trong đoàn, lịch sử tình trạng kỹ thuật và bảo dưỡng của từng xe. Máy chủ web cho phép người dùng truy cập dữ liệu với các mức phân quyền khác nhau, đồng thời cho phép tích hợp các giải thuật phân tích dữ liệu, phát hiện xu hướng hư hỏng và đưa ra cảnh báo về tình trạng kỹ thuật của động cơ.

Chi tiết về các loại dữ liệu và các thao tác trên dữ liệu tương ứng với các cấp độ phân quyền truy cập được trình bày ở Hình 5. Trong đó, lịch sử dữ liệu vận hành của xe tương ứng với dữ liệu được cung cấp hàng ngày từ bộ ghi nhận dữ liệu gắn trên xe; lịch sử dữ liệu chẩn đoán của xe tương ứng với các đặc trưng được phân tích từ dữ liệu vận hành hàng ngày; và lịch sử dữ liệu đánh giá tình trạng xe tương ứng với kết luận về tình trạng kỹ thuật của các cảm biến, phần tử chấp hành và các cơ cấu, bộ phận cơ khí của động cơ.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Hệ thống thu thập dữ liệu vận hành động cơ diesel phun dầu điện tử cho đoàn xe buýt đã được chế tạo thử nghiệm với bộ đọc dữ liệu vận hành thực tế và giao diện trang web được trình bày ở các Hình 6 và Hình 7 tương ứng.

Hệ thống đã được lắp đặt thử nghiệm cho một đội xe buýt sử dụng động cơ diesel phun dầu điện tử Weichai WP5.200E41 EURO 4. Kết quả cho thấy các thông số vận hành của động cơ và xe được thu thập tin cậy và ổn định qua nhiều ngày làm việc.

Hình 8 minh họa diễn biến các thông số trạng thái vận hành tiêu biểu của động cơ và xe trong một lượt di chuyển xe trên tuyến đường hỗn hợp bao gồm đi trong thành phố và ngoại thành. Quãng đường xe di chuyển trên một lượt khoảng 40 km. Các giai đoạn giai đoạn xe tăng tốc nhanh tương ứng với các giai đoạn động cơ được điều khiển tăng tốc nhanh (vị trí bàn đạp ga và tốc độ biến thiên nhanh), cho thấy các dữ liệu được

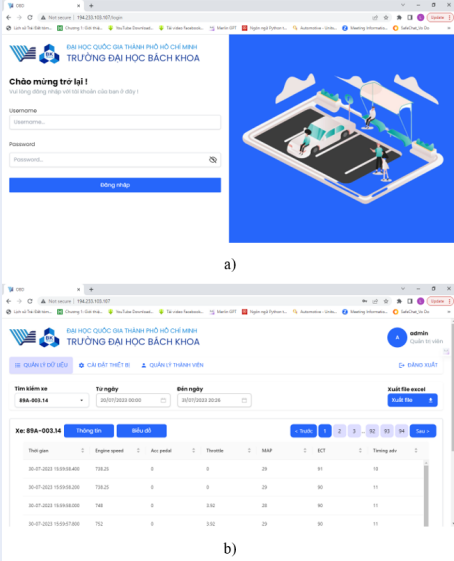
Loại dữ liệu		Cấp độ truy cập : SỬ DỤNG DỊCH VỤ		
		Cấp 1	Cấp 2	Cấp 3
		Tổ xe	Đơn vị thành viên	Đơn vị chủ quản
D1	Mô tả Root			
D2	Mô tả Đơn vị chủ quản			x
D3	Mô tả Đơn vị thành viên		x	x
D4	Mô tả Tổ xe	x	x	x
D5	Mô tả Xe	x	x	x
D6	Lịch sử dữ liệu vận hành của Xe	x	x	x
D7	Lịch sử dữ liệu chẩn đoán của Xe	x	x	x
D8	Lịch sử dữ liệu đánh giá tình trạng Xe	x	x	x
D9	Lịch sử công tác bảo dưỡng, sửa chữa Xe	x	x	x
Thao tác trên dữ liệu		Cấp độ truy cập : SỬ DỤNG DỊCH VỤ		
		Cấp 1	Cấp 2	Cấp 3
		Tổ xe	Đơn vị thành viên	Đơn vị chủ quản
		Được thao tác trên dữ liệu của chính Tổ xe và các xe trong Tổ	Được thao tác trên dữ liệu của các Tổ xe và Xe trong Đơn vị	Được thao tác trên dữ liệu của các Đơn vị, các Tổ xe và Xe thuộc Đơn vị chủ quản
A1	Tạo phần tử	Xe	Tổ xe, Xe	ĐVTV, Tổ xe, Xe
A2	Copy dữ liệu từ phần tử cũ	Xe	Tổ xe, Xe	ĐVTV, Tổ xe, Xe
A3	Xóa phần tử	Xe	Tổ xe, Xe	ĐVTV, Tổ xe, Xe
A4	Xem nội dung	D4-6, D8-9	D3-6, D8-9	D2-6, D8-9
A5	Thay đổi nội dung	D4-5	D3-5	D2-5
A6	Thêm nội dung	D8-9	D8-9	D8-9
A7	Download	D4-5, D8-9, Xe	D3-5, D8-9, Tổ xe, Xe	D2-5, D8-9, ĐVTV, Tổ xe, Xe
A8	Upload	Xe	Tổ xe, Xe	ĐVTV, Tổ xe, Xe

Hình 5: Minh họa các loại dữ liệu và các thao tác trên dữ liệu tương ứng với các cấp độ truy cập được thiết kế cho hệ thống giám sát tình trạng kỹ thuật đoàn xe buýt.



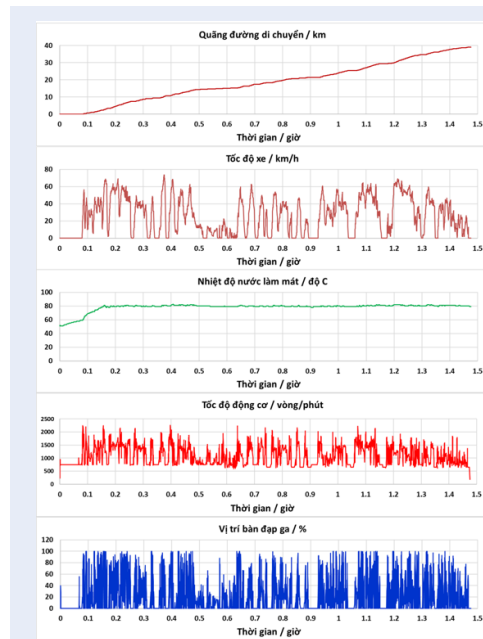
Hình 6: Bộ ghi dữ liệu vận hành của động cơ diesel phun dầu điện tử được chế tạo thực tế.

ghi nhận với tốc độ nhanh, chính xác, phản ánh kịp thời đáp ứng của động cơ theo điều khiển của người lái. Ngoài ra, nhiệt độ nước làm mát luôn được giữ ổn định ở 80 °C không phụ thuộc vào điều kiện tải của xe cho thấy hệ thống làm mát hoạt động hiệu quả, và ở trong tình trạng tốt. Thực tế làm việc cho thấy mạch xử lý ESP32 DEVKIT V1 cho phép kết nối với máy chủ cục bộ hiệu quả và ổn định trong phạm vi 150 m. Khi sử dụng ăng-ten rời, phạm vi làm việc có thể tăng lên 300 m, phù hợp với trạm xe buýt có diện tích lớn hay máy chủ cục bộ ở vị trí lệch một bên so với khu vực đậu xe.



Hình 7: Minh họa giao diện trang web truy cập dữ liệu vận hành đoàn xe. a) màn hình đăng nhập; b) màn hình xem lịch sử vận hành của động cơ ở dạng bảng số liệu.

Kết quả thử nghiệm ban đầu đã chứng minh giải pháp giám sát tình trạng kỹ thuật động cơ phun dầu điện tử được đề xuất là khả thi và hiệu quả. Các giải thuật phân tích dữ liệu thông minh cần được phát triển để phục vụ công tác giám sát và dự báo chiều hướng hư hỏng của động cơ trước khi chức năng OBD-II của xe phát hiện và xác nhận.



Hình 8: Thông số trạng thái vận hành tiêu biểu của xe buýt sử dụng động cơ WP5.200E41 EURO 4 từ lúc khởi động động cơ cho đến khi dừng xe và tắt máy được thu thập bởi bộ ghi dữ liệu vận hành.

KẾT LUẬN

Ghi nhận dữ liệu vận hành tức thời cung cấp bởi hệ thống OBD-II qua mạng CAN và kết hợp với lưu trữ dữ liệu qua nền tảng IoT là một giải pháp khả thi để phát triển hoàn chỉnh hệ thống giám sát liên tục tình trạng kỹ thuật của các động cơ phun dầu điện tử trong đoàn xe buýt, giúp phát hiện sớm các hư hỏng nặng sắp xảy ra. Tính năng giám sát này là một bổ sung hiệu quả cho hệ thống OBD-II đã được nhà sản xuất tích hợp sẵn trên các xe nhưng chỉ có thể tự chẩn đoán và thông báo lỗi sau khi hư hỏng đã xảy ra. Bằng các linh kiện điện-điện tử và mạch xử lý thông dụng, các hệ thống giám sát tình trạng kỹ thuật động cơ phun dầu điện tử cho đoàn xe buýt có thể được xây dựng với chi phí thấp nhưng vẫn đảm bảo tính ổn định, chính xác, và tin cậy.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số C2021-20-07.

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

IoT: Internet of Things – Internet vạn vật
PM: Particulate Matter – Hạt muội than
CR: Common-Rail – Thanh tích áp trong hệ thống phun dầu điện tử
OBD-II: On-Board Diagnostics-II – Tính năng tự chẩn đoán thế hệ 2

DTC: Diagnostic Trouble Code – Mã chẩn đoán lỗi
EGR: Exhaust Gas Recirculation – Chức năng tuần hoàn khí thải động cơ
ECU: Engine Control Unit – Máy tính điều khiển động cơ
LAN: Local Area Network – Mạng cục bộ
CAN: Controller Area Network – Mạng vùng điều khiển
SPI: Serial Peripheral Interface – Chuẩn giao tiếp ngoại vi nối tiếp
I²C: Inter-Integrated Circuit – Chuẩn giao tiếp giữa các vi mạch tích hợp
UART: Universal Asynchronous Receiver/ Transmitter – Chuẩn thu/phát không đồng bộ đa năng
FSM: Finite State Machine – Máy trạng thái hữu hạn

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả xác nhận không có xung đột lợi ích liên quan đến công trình nghiên cứu.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Nhóm tác giả xác nhận các thành viên đều có đóng góp như nhau trong nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Trọng MT, Điểm LV. Nhận Dạng Trạng Thái Kỹ Thuật Của Động Cơ A38 Trên Tàu VINAFCO 25 Bàng Mạ Nơ Ron Nhân Tạo. Tạp Chí Khoa Học Công Nghệ Hàng Hải, Số. 2009;18.
2. Tiến NM, Hùng NV, Đức Mạnh V. Chẩn Đoán Tình Trạng Kỹ Thuật Hộp Số Cơ Khí Trên Cơ Sở Mạng Nơron RBF. Tạp Chí Khoa Học Công Nghệ Xây Dựng. 2017;11(4).
3. Tran DAT, Nguyen TCH, Phan QM. A Robust Neural Network Algorithm for Automotive Air Conditioning Fault Detection. International Journal of Automotive Engineering. 2020;11(1).
4. Mohammadpour J, Frankcheck KGM. A Survey on Diagnostic Methods for Automotive Engines. International Journal of Engine Research. 2011;.
5. Sangha MS, Yu DL, Goom JB. On-Board Monitoring and Diagnosis for Spark Ignition Engine Air Path via Adaptive Neural Networks". Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. 2006;220.
6. Chen P. Study on Neural Network Automobile Fault Diagnosis Expert System. Journal of Applied Sciences. 2014;14(4).
7. Ahmed R, Sayed ME, Gadsden SA, Tjong J, Habibi S. Automotive Internal-Combustion Engine Fault Detection and Classification Using Artificial Neural Network Techniques. IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2015;64(1).
8. Xie C, Wang Y, MacIntyre J, Sheikh M, Elkady M. Using Sensors Data and Emissions Information to Diagnose Engine's Faults. International Journal of Computational Intelligence Systems. 2018;11.
9. Cohen T, Ruhm D. The 11 Best Fleet Management Software Tools of 2025; 2023. Available from: <https://connecteam.com/10-best-fleet-management-software>.
10. Diesel engine management: Systems and Components. Bosch Professional Automotive Information, Springer Fachmedien Wiesbaden, German; 2014.
11. Walter RP, Walter EP. Data acquisition from HD vehicles using J1939 CAN bus. Warrendale, Pennsylvania, USA: SAE International; 2016.

A technique for monitoring diesel common-rail direct injection engines used in a bus fleet for preventive maintenance purposes

Ho Nam Hoa^{1,2}, Tran Dang Long^{1,2,*}, Dinh Quoc Tri^{1,2}, Vu Viet Thang^{1,2}, Tran Quang Lam^{1,2}, Nguyen Vinh Hao^{2,3}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

¹Faculty of Transportation Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), Vietnam

²Vietnam National University Ho Chi Minh City, Vietnam

³Faculty of Electrical-Electronic Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), Vietnam

Correspondence

Tran Dang Long, Faculty of Transportation Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), Vietnam

Vietnam National University Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: trandanglong@hcmut.edu.vn

History

- Received: 05-8-2023
- Revised: 8-10-2023
- Accepted: 6-8-2025
- Published Online: 15-10-2025

DOI :

<https://doi.org/10.32508/stdjet.v8i4.1134>



Check for updates

Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



ABSTRACT

This paper describes an IoT-based technique for gathering the operational data from EURO 4 diesel common-rail direct injection systems used in a bus fleet in real-time, and a methodology to monitor engine technical status basing on these collected data. The engine livedata acquisition system developed in this study has three major parts including OBD-II livedata recorders installed in buses, a local server located in the bus depot to collect daily livedata from the bus fleet, and a web server to store livedata from several bus depots and provides data mining services. By the combination of a local server and a web server, the operational cost can be reduced and the daily livedata can be simultaneously stored in both servers for safety reasons. A pilot system was successfully developed and tested in a real environment. Engine livedata were shown to be collected accurately, precisely, and robustly. The result of this research is an important technical platform to predict the degradation tendencies of sensors, actuators and mechanical components for engine preventive maintenance as well as to provide operational history for engine diagnostics and repair.

Key words: Bus fleet management, EURO 4 diesel engine, on-board diagnostics, livedata, preventive maintenance, IoT.

Cite this article : Hoa H N, Long T D, Tri D Q, Thang V V, Lam T Q, Hao N V. A technique for monitoring diesel common-rail direct injection engines used in a bus fleet for preventive maintenance purposes. *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology* 2025; 8(4):2647-2654.