

A comparative analysis of the measurement tools of fuel consumption in a passenger car

Analiza porównawcza narzędzi do pomiaru zużycia paliwa w samochodzie osobowym

Jakub Grzesiak, Karol Sawczuk*, Marcin Barszcz

Department of Computer Science, Lublin University of Technology, Nadbystrzycka 36B, 20-618 Lublin, Poland

Abstract

The article presents the results of practical application of the author's application for a mobile device that allows measuring fuel consumption in a passenger car. The application has two modules and works while driving the car. One of the modules retrieves data from the on-board computer using the OBD II protocol. The other module uses the phone's GPS and data entered by the user. Simultaneous data collecting from the modules allows them to be compared. Based on the results, it is concluded that the inaccuracy of GPS navigation in relation to OBD II for gasoline cars does not exceed 6%, and for those with diesel engines, 21%. The results of the work will make it easier for users to appropriately select a technique for testing the fuel consumption of a passenger car.

Keywords: OBD; GPS; Car; Fuel consumption

Streszczenie

W artykule zaprezentowano efekty praktycznego zastosowania autorskiej aplikacji na urządzenie mobilne pozwalającej na pomiar zużycia paliwa w samochodzie osobowym. Aplikacja posiada dwa moduły i pracuje w trakcie jazdy samochodem. Jeden z modułów pobiera dane z komputera pokładowego za pomocą protokołu OBD II. Drugi zaś, wykorzystuje GPS telefonu oraz dane wprowadzone przez użytkownika. Równoczesne pobieranie danych z modułów pozwala na ich zestawienie. Na podstawie otrzymanych wyników badań wnioskuje się, że niedokładność nawigacji GPS w stosunku do OBD II dla samochodów benzynowych nie przekracza 6%, a dla tych z silnikiem diesla, 21%. Rezultaty pracy ułatwią użytkownikom odpowiedni dobór techniki badania zużycia paliwa przez samochód osobowy.

Słowa kluczowe: OBD; GPS; Zużycia paliwa

*Corresponding author

Email address: karol.sawczuk@pollub.edu.pl (K. Sawczuk)

©Published under Creative Common License (CC BY-SA v4.0)

1. Wstęp

W obecnych czasach poruszanie się samochodem zajmuje znaczną część życia, co jednocześnie składa się na istotną część wydatków z budżetu kierowcy. Taki stan rzeczy prowadzi do skupienia uwagi na aspekty związane ze spalaniem bądź wydajnością samochodu, którym się poruszamy. Do dyspozycji jest wiele narzędzi, które mogą pomóc w ocenie ilości spalonego paliwa przez samochód. Nowe samochody posiadają wyświetlacze które informują o chwilowym i średnim zużyciu paliwa lub drodze jaką jeszcze samochód może przebyć do kolejnego tankowania. Stosując odpowiednie obliczenia i wzory istnieje możliwość wyznaczenia, z pewną dokładnością, ile paliwa zostało zużyte podczas pracy silnika [1]. Takie rozwiązanie jednak wymaga od użytkownika dodatkowej pracy, której mógłby uniknąć.

W celu rozwiązania tego problemu autorzy niniejszej pracy opracowali mobilną aplikację CarRide na smartfony, która za pomocą interfejsu On-Board Diagnostics (OBD II) pobiera na bieżąco informacje bezpośrednio z komputera pokładowego samochodu i wyznacza dzięki nim ilość spalonego paliwa. Według Statista, 83,72% populacji świata posiada smartfona co znacząco ułatwia dostępność do aplikacji [2]. Natomiast interfejs OBD II jest specjalistycznym urządzeniem diagno-

stycznym, i nie jest tak popularny jak nowoczesne telefony komórkowe co powoduje, że dostępność opracowanej aplikacji znacząco spada. Rozwiązaniem tego problemu było dodanie opcji estymacji spalania paliwa wykorzystując tylko narzędzia dostępne w samym telefonie.

Obecnie telefony wyposażone są w moduły Global Positioning System (GPS), które są w stanie monitorować miejsce oraz prędkość z jaką się poruszamy. Nie są to jednak wszystkie wystarczające informacje, które są potrzebne do określenia zużycia paliwa. Użytkownik musi wprowadzić do aplikacji wcześniej wyznaczone dane tj. spalanie paliwa samochodu przy danej prędkości [3]. Po wprowadzeniu funkcji estymowania spalonego paliwa na podstawie GPS, użytkownik nie jest zmuszony do zakupu interfejsu OBD II.

2. Analiza literatury

Parametry samochodów osobowych są monitorowane przez komputer pokładowy. Informacje te są niezbędne, żeby otrzymać jak najdokładniejsze wyniki podczas badania zużycia paliwa. Jeśli chcemy się posłużyć estymacją, należy określić zestaw niezbędnych parametrów i wyznaczyć ich wartości. Rimpas i in. wykazali w swojej pracy, że prędkość samochodu oraz jej zmiana, bezpośrednio wpływają na zużycie paliwa [3].

Jeśli komputer silnika nie posiada odpowiedniego zestawu sensorów, część danych trzeba przyjąć jako stałe. Gumus, Masi i in. w swoich artykułach badali silniki samochodów osobowych i wyznaczali ich sprawność objętościową [4, 5]. Zebrane dane posłużyły im następnie do wykonania obliczeń, których wynikiem jest ilość spalonego paliwa. Ribeiro i in. przeanalizowali informacje otrzymane z interfejsu OBD II do obliczania zużycia paliwa, tworząc usystematyzowany sposób obliczania zużycia paliwa na podstawie odczytów czujników OBD II dla wielu różnych pojazdów [1].

Nawigacja GPS nie wskazuje idealnie prędkości z jaką porusza się samochód. Największy błąd występuje wtedy, kiedy zmiany prędkości są bardzo małe. Ali i in. w swojej pracy zwracają uwagę na problem zalecając wykonywanie pomiarów przy prędkościach większych niż 10 km/h [6]. Aplikacja „CarRide” przewiduje wykorzystywanie nawigacji o małej dokładności, dlatego pomiary zapisywane są, gdy prędkość będzie większa niż 15 km/h.

Meseguer i in. przedstawili w swoim artykule wzory, które pozwalają na przekształcenie odczytów z komputera silnika na ilość spalonego paliwa na odcinku 100 kilometrów [7].

3. Metody badawcze

Badanie spalania paliwa samochodów osobowych zostało przeprowadzone na trzech różnych autach. Pierwszy samochód to Ford Focus MK2 z silnikiem benzynowym 1,6. Drugie auto to Ford Mondeo MK4 z silnikiem 2,0 diesel, ostatni zaś to Mercedes W204 z silnikiem benzynowym 1,8. Prowadzone badania uwzględniały trzy różne paliwa tj. benzynę, LPG, olej napędowy.

Aplikacja stworzona przez autorów pracy o nazwie „CarRide” gromadzi symultanicznie dane z samochodu, za pomocą interfejsu OBD II oraz modułu GPS telefonu w momencie, w którym porusza się z prędkością większą niż 15 km/h [6]. Zebrane informacje pozwalają na obliczenie ilości spalonego paliwa.

3.1. OBD II

Odczyt danych z komputera pokładowego samochodu w czasie rzeczywistym odbywa się za pomocą protokołu OBD II z wykorzystaniem zewnętrznego interfejsu bluetooth. Urządzenie wpinane jest w port OBD II w samochodzie, komunikacja z aplikacją odbywa się za pomocą standardu bluetooth.

Właściwy odczyt danych z auta opiera się o komunikację szeregową. Na początku połączenia dokonuje się konfiguracja parametrów komunikacji takich jak prędkość, częstotliwość, itp. Następnie za pomocą wysłania do modułu OBD II konkretnych kodów (PIDów), w odpowiedzi otrzymuje się żadaną wartość np. obroty silnika na minutę. Sam odczyt odbywa się dwa razy w ciągu sekundy, co przekłada się na duże zagęszczenie zbieranych danych.

Dla samochodów posiadających Mass Airflow Sensor (MAF Sensor), do obliczenia zużycia paliwa, stosuje się wzór [7]:

$$\text{Zużyte paliwo} = \frac{MAF \cdot 3600}{V \cdot AFR} \quad (1)$$

gdzie:

- MAF - ilość powietrza jaka dostaje się do silnika [g/s],
- V - prędkość auta [km/h],
- ρ - gęstość danego paliwa [g/l],
- AFR - stała, która określa idealny stosunek ilości powietrza do spalania danej ilości paliwa (Tabela 1).

Tabela 1: Stałe wartości wykorzystywane do obliczeń

Rodzaj paliwa	Gęstość	AFR
Benzyna	710 g/l	14,7:1
Diesel	830 g/l	14,5:1

Jeśli samochód nie posiada MAF Sensora, przyjmuje się założenie, że wydajność silnika (VE) wynosi 80% [4, 5] i do obliczenia zużycia paliwa wykorzystuje się wzór [7]:

$$MAF = IMAP \cdot \frac{VE}{100} \cdot ED \cdot \frac{MM}{R} \quad (2)$$

gdzie:

- ED - pojemność silnika [l],
- MM - molekularna masa powietrza, która jest stała i wynosi 28,97 [g/mol],
- VE - wydajność silnika [%],
- R - stała gazowa, wynosi 8,314 [(J/K)/mol]

IMAP to syntetyczna zmienna, którą można wyznaczyć wzorem:

$$IMAP = \frac{RPM \cdot \frac{1}{120}}{ITEMP} \cdot MAP \quad (3)$$

gdzie:

- RPM - liczba obrotów silnika [obr./min.]
- ITEMP - temperatura powietrza dostającego się do silnika [K]
- MAP - ciśnienie w kolektorze dolotowym silnika [kPa]

RPM jest liczbą obrotów silnika na minutę, dzielona przez 120 ze względu na próbkowanie aplikacji z OBD II, wynoszące 2 Hz.

3.2. GPS

Aplikacja CarRide wykorzystuje moduł GPS telefonu, który zakresem funkcjonalności w pełni odpowiada realizacji badań.

Uruchomienie oraz praca modułu oparta jest na systemie Android oraz tego jak ta funkcjonalność została zaimplementowana przez producenta systemu. Obliczenia w przypadku modułu GPS opierają się o pobranie aktualnej prędkości dokładnie raz na sekundę [5].

Do prawidłowego działania modułu potrzebne są dane na temat zużycia paliwa w stosunku do prędkości.

Każdy z samochodów wyposażony był we wskaźnik informujący o ilości zużytego paliwa na trasie oraz tempomat. Aby wyznaczyć prawidłowe wartości, każdym samochodem został pokonany ten sam odcinek 5 kilometrów płaskiej drogi z konkretną prędkością przy najwyższym możliwym biegu skrzyni (Tabela 2). Wszystkie pomiary zostały wykonane tego samego dnia na suchej nawierzchni przy temperaturze 23°C.

Tabela 2: Zakres biegów w skrzyni przy wyznaczaniu zużycia paliwa

Prędkość	Ford Focus MK2	Mercedes W204	Ford Mondeo MK4
40 km/h	4 bieg	4 bieg	5 bieg
60 km/h	5 bieg	5 bieg	6 bieg
90 km/h	5 bieg	5 bieg	6 bieg

Użytkownik wpisuje wartości zużycia paliwa w oparciu o interfejs użytkownika samochodu dla kolejnych prędkości: 40 km/h, 60 km/h oraz 90 km/h (Tabela 3). Następnie za pomocą metody aproksymacji wielomianowej wyznaczana jest skala wartości zużycia paliwa przez samochód.

Tabela 3: Zużycie paliwa przez samochód odczytane z komputera pokładowego przy danej prędkości

Prędkość	Zużycie paliwa		
	Ford Focus MK2	Mercedes W204	Ford Mondeo MK4
40 km/h	6 l/100km	7,5 l/100km	6,8 l/100km
60 km/h	5,1 l/100km	7,1 l/100km	5,8 l/100km
90 km/h	6,3 l/100km	6,9 l/100km	6,5 l/100km

Na podstawie prędkości, przy jednosekundowym próbkowaniu, obliczana jest trasa pokonana w ostatniej sekundzie drogi oraz zużycie paliwa które jest wyznaczane z wielomianu wyznaczonego na podstawie aproksymacji.

4. Wyniki badań

Aplikacja rejestruje dane w chmurze z tych samych odcinków. W oparciu o zaproponowaną metodykę badań zebrane zostały miarodajne wyniki. W tabeli 4 przedstawiono przykładowe pomiary zużycia paliwa dla samochodu Ford Focus MK2.

Tabela 4: Przykładowe pomiary zużycia paliwa dla samochodu Ford Focus MK2

Liczba przejechanych kilometrów [km]	Ilość spalonego paliwa – moduł GPS [l/5km]	Ilość spalonego paliwa – moduł OBD II [l/5km]
[...]		
50	0,2542	0,3347
55	0,2863	0,3087
60	0,2846	0,3758
65	0,2888	0,3445
70	0,2817	0,2994

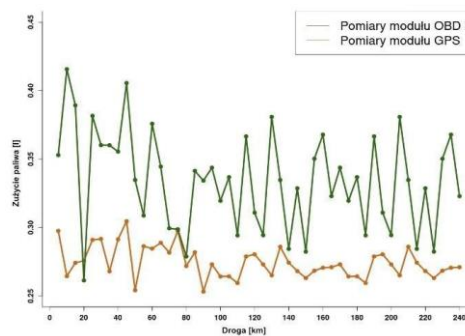
75	0,2974	0,2987
80	0,2719	0,2788
85	0,2819	0,3413
90	0,2531	0,3342
95	0,2730	0,3437
100	0,2642	0,3195
[...]		

W Tabeli 5 przedstawione są wyniki wyznaczenia średniej procentowej różnicy między pomiarem z interfejsu OBD II i estymacji wykorzystującej GPS.

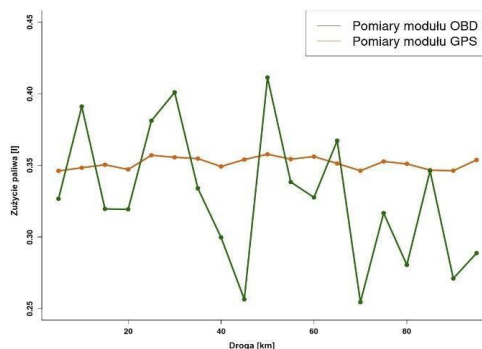
Tabela 5: Błąd przeciętny zużycia paliwa danego samochodu, przez aplikację

Model samochodu	Średni błąd pomiaru zużycia paliwa [%]
Ford Focus MK2	6,00
Mercedes W204	4,26
Ford Mondeo MK4	20,28

Rysunek 1 przedstawia wykres porównujący wyniki obu modułów aplikacji na trasie 240 kilometrów przejechanych samochodem Ford Focus MK2. Można zauważyć, że moduł GPS opierając się jedynie na prędkości i danych wprowadzonych przez użytkownika przedstawia niższe wartości zużycia paliwa w stosunku do pomiarów z OBD II. Dane zebrane z komputera silnika oscylują w zakresie od 0,26 do 0,42. Rozstęp w tym przypadku wynosi 0,16. Dla danych obliczanych na podstawie nawigacji rozstęp wynosi 0,05.



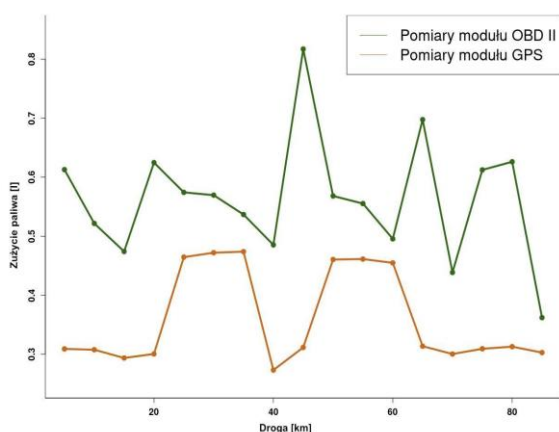
Rysunek 1: Wykres wartości zużycia paliwa przez samochód Ford Focus MK2 w pięciokilometrowych odstępach.



Rysunek 2: Wykres wartości zużycia paliwa dla samochodu Mercedes W204 w pięciokilometrowych odstępach.

Na Rysunku 2 można zauważyć znaczącą różnicę w pomiarze opierającym się na nawigacji dla Mercedesa W204, w stosunku do wyników otrzymanych dla samochodu Ford Focus MK2. Rozstęp zużycia paliwa obliczony na podstawie GPS wynosi zaledwie 0,01.

Ilustracja 3 przedstawia wyniki badania przeprowadzonego przy użyciu samochodu Ford Mondeo MK4. Technicznie łatwo zauważyć duży błąd pomiarowy. Wynika to z powodu konstrukcji silnika diesla, a jednocześnie zastosowanej metody obliczeń. Wzór użyty do obliczenia spalania paliwa wykorzystuje parametr MAF, co w przypadku nowoczesnych silników diesla okazuje się problematyczne. Charakter takiego silnika powoduje, że w niskich partiach obrotów silnika oraz przy stosunkowo niskich prędkościach jazdy uzyskujemy duży przepływ powietrza, a co za tym idzie aplikacja oblicza istotnie zawyżone wyniki w stosunku do pomiaru opartego o moduł GPS.



Rysunek 3: Wykres wartości zużycia paliwa przez samochód Ford Mondeo MK4 w pięciokilometrowych odstępach.

5. Wnioski

System estymacji oparty na nawigacji GPS, zaimplementowany w aplikacji CarRide, w części przypadków przedstawia wyniki zbliżone do spalania obliczanego na podstawie danych z interfejsu OBD II. Implementacja wykorzystuje tylko zmianę prędkości w czasie oraz dane użytkownika. Biorąc pod uwagę informacje z przeglądu literatury, można ją jeszcze rozszerzyć o dodatkowe dane wejściowe takie jak wzorce i modele jazdy lub specyfikację pojazdu, co mogłoby znacząco poprawić wyniki.

Przeprowadzona analiza rezultatów wyraźnie wskazuje na to, że estymacja GPS dużo bardziej zbliża się do wyników z systemu OBD II w przypadku samochodów (Ford Focus MK2, Mercedes W204) wyposażonych w sensor MAP. Różnica wyników opartych na modułach OBD II i GPS dla samochodów Ford Focus MK2 i Mercedes W204 różni się o dwa punkty procentowe, więc wyniki są bardzo zbliżone.

Błąd pomiaru w przypadku silnika z sensorem MAF (Ford Mondeo MK4) przekroczył 20%, w przedstawionym scenariuszu, a średnie spalanie paliwa podczas estymacji GPS wyniosło 7,2 l/100km, dla danych z interfejsu OBD II było to 11,2 l/100km. Różnica w spalaniu wynosząca 4 litry zupełnie przekreśla dla użytkownika taką funkcjonalność. Różnica w spalaniu na 100 kilometrów dla samochodu Mercedes W204 wynosi pół litra, estymacja za pomocą nawigacji GPS wskazała 7 litrów a dane z OBD II 6,5 litra. Wyniki dla samochodu Ford Focus MK2 różnią się o 1,2 litra, moduł oparty na nawigacji wskazał spalanie 5,4 litra na 100 kilometrów, wyniki z OBD II natomiast 6,6 litra. Są to wartości, które potencjalnie mogłyby zadowolić klienta, konieczne byłoby przeprowadzenie ankiety, w której użytkownicy mogliby wyrazić swoją opinię na temat oczekiwanej dokładności estymacji spalania.

Literatura

- [1] V. Ribeiro, J. Rodrigues, A. Aguiar, Mining geographic data for fuel consumption estimation, Proceedings of the 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013), (2013) 124-129, <https://doi.org/10.1109/ITSC.2013.6728221>.
- [2] Ilość subskrypcji smartfonów na świecie <https://www.statista.com/statistics/330695/numberofsmartphone-users-worldwide/>, [22.08.2022].
- [3] D. Rimpas, A. Papadakis, M. Samarakou, OBD-II sensor diagnostics for monitoring vehicle operation and consumption, Energy Reports 6(3) (2020) 55-63, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.10.018>.
- [4] M. Gumus, Effects of volumetric efficiency on the performance and emissions characteristics of a dual fueled (gasoline and LPG) spark ignition engine, Fuel Processing Technology 92(10) (2011) 1862-1867, <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.05.001>.
- [5] M. Masi, P. Gobato, Measure of the volumetric efficiency and evaporator device performance for a liquefied petroleum gas spark ignition engine, Energy Conversion and Management 60 (2012) 18-27, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2011.11.030>.
- [6] M. Ali, M. D. Kamal, A. Tahir, S. Atif, Fuel Consumption Monitoring through COPERT Model—A Case Study for Urban Sustainability, Sustainability 13 (2021) 11614-11626, <https://doi.org/10.3390/su132111614>.
- [7] J. E. Meseguer, C. T. Calafate, J. C. Cano, P. Manzoni, Assessing the impact of driving behavior on instantaneous fuel consumption, In 2015 12th Annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), (2015) 443-448, <https://doi.org/10.1109/CCNC.2015.7158016>.