

# PHƯƠNG PHÁP TỐI ƯU HÓA CÁC THÔNG SỐ CỦA Ô TÔ DỰA TRÊN PHÂN TÍCH QUỹ ĐẠO CHUYỂN ĐỘNG

## A METHOD FOR THE OPTIMIZATION OF VEHICLE PARAMETERS BASED ON ANALYSIS OF VEHICLE TRAJECTORY

Trần Xuân Trung<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Hữu Nam<sup>2</sup>, Phùng Văn Bình<sup>1</sup>, Vũ Hải Hà<sup>3</sup>

### TÓM TẮT

Bài báo này trình bày phương pháp tối ưu hóa các thông số động học của ô tô dựa trên phân tích quỹ đạo GPS của nó để xác định các dữ liệu về gia tốc tiếp tuyến, gia tốc pháp tuyến, độ dốc của mặt đường và công suất tức thời của xe trên toàn bộ tuyến đường. Phương pháp này bao gồm một thuật toán để cải thiện độ chính xác của sai số vị trí và tốc độ lấy mẫu thấp của quỹ đạo GPS. Dữ liệu này có thể được sử dụng để đánh giá các yêu cầu đối với hệ truyền động kéo của ô tô và tối ưu hóa các thông số của nó.

**Từ khóa:** Quỹ đạo GPS; ô tô; truyền động kéo; tối ưu hóa; gia tốc.

### ABSTRACT

This paper presents a method for optimization of vehicle kinematic parameters based on analysis of the vehicle GPS-track, yields data on the tangential and normal acceleration, on the road profile slope angle, and on the vehicle instantaneous power over its entire route. The method comprises an algorithm to improve the accuracy of the results related to poor position estimation and low sampling rate of the GPS-track readings. This data can be used to evaluate the requirements for the traction drive system of the vehicle and optimize its parameters.

**Keywords:** GPS-track; vehicle; traction drive; optimization; acceleration.

<sup>1</sup>Khoa Hàng không vũ trụ, Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn

<sup>2</sup>Khoa Kỹ thuật điều khiển, Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn

<sup>3</sup>Viện Tự động hóa kỹ thuật quân sự

\*Email: xuantrungtran85@gmail.com

Ngày nhận bài: 20/9/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/11/2021

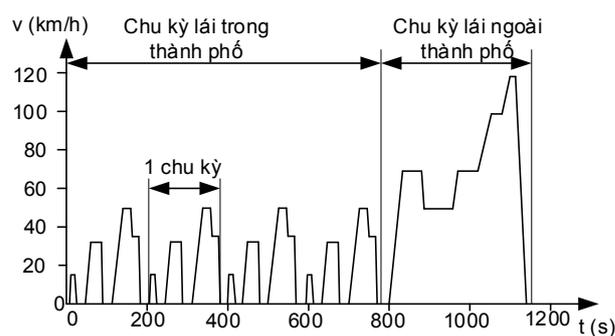
Ngày chấp nhận đăng: 27/12/2021

### 1. GIỚI THIỆU

Để xác định mức tiêu thụ nhiên liệu của một chiếc ô tô đang chuyển động, người ta sử dụng nhiều phương pháp khác nhau, một trong số đó là thử nghiệm sự vận hành của ô tô theo một chu trình tiêu chuẩn NEDC (New European Driving Cycle - Chu trình lái xe mới của châu Âu), bao gồm một bộ thông số để mô tả chuyển động của xe trong điều kiện thực tế [1, 2]. Tuy nhiên, NEDC (hình 1) bị đánh giá là không đủ tin cậy do không biểu diễn được sự thay đổi của gia tốc tại thời điểm tăng tốc, thời điểm giảm tốc tức thời

(phanh) và sự thay đổi hướng chuyển động của xe, dẫn đến kết quả đánh giá lượng tiêu thụ nhiên liệu giữa thử nghiệm và thực tế là không trùng nhau [2]. Để khắc phục điều này, đòi hỏi cần phải có một phương pháp thu được các bộ dữ liệu chính xác về quỹ đạo chuyển động của ô tô đang chuyển động theo thời gian.

Dữ liệu gia tốc của ô tô có thể nhận được từ cảm biến gia tốc được tích hợp trong xe. Tuy nhiên, sự rung, lắc trên đường trong quá trình chuyển động của xe sẽ gây ra sai số trong phép đo, làm quỹ đạo chuyển động thu được có thể sẽ khác so với quỹ đạo thực của xe. Do vậy, chúng không phù hợp để sử dụng cho việc phân tích [3]. Một giải pháp khác để có được những thông tin cần thiết về lộ trình là sử dụng định vị GPS. Nhược điểm của phương pháp này là tốc độ lấy mẫu thấp và độ chính xác dữ liệu về vị trí bị ảnh hưởng bởi các yếu tố bên ngoài như: thời tiết, nhà cao tầng, cây cối... Để cải thiện điều đó, các dữ liệu GPS cần phải được xử lý bằng cách sử dụng một thuật toán đặc biệt để chuyển đổi vị trí thành gia tốc và độ dốc (mặt đường) của xe theo thời gian trên toàn bộ tuyến đường.



Hình 1. Chu trình lái xe mới của Châu Âu NEDC

### 2. THUẬT TOÁN XỬ LÝ QUỹ ĐẠO CHUYỂN ĐỘNG GPS

#### 2.1. Hệ thống định vị toàn cầu GPS

GPS là hệ thống định vị toàn cầu do Mỹ phát triển và vận hành. GPS là tên viết tắt của cụm từ "Global Positioning System" (Hệ thống định vị toàn cầu), nó là một hệ thống bao gồm nhiều vệ tinh bay trên quỹ đạo phía trên trái đất ở độ cao 20200km. Có ít nhất 24 vệ tinh GPS hoạt động

khoảng 95% thời gian. Năm 2011, có thêm 3 vệ tinh nữa và hiện nay tổng cộng có ít nhất là 27 vệ tinh đang hoạt động liên tục [4, 5, 6].

Hệ thống định vị GPS hiện đại cung cấp các tọa độ địa lý tương đối chính xác với sai số vị trí không vượt quá ± 1m, và sai số đo độ cao khoảng ± 10m [7, 8]. Tuy nhiên, không thể sử dụng trực tiếp dữ liệu nhận được từ bộ thu GPS vì tọa độ vị trí của đối tượng đang chuyển động nhận được trung bình khoảng một lần/giây (có thể lâu hơn, phụ thuộc vào thiết bị thu GPS được sử dụng), nhưng chúng có thể chứa sai số. Việc sử dụng phương pháp nội suy không giải quyết được vấn đề xử lý lỗi trong các tọa độ GPS này do ảnh hưởng của hiện tượng nhiễu của thiết bị thu và dẫn đến việc trạng thái của ô tô tại thời điểm đang dừng (không chuyển động) không được thể hiện chính xác.

**2.2. Xử lý gia tốc bằng thuật toán xấp xỉ**

Giả sử ô tô chuyển động giữa các điểm nút (điểm tham chiếu) với gia tốc không đổi, ví dụ từ điểm 2 đến điểm 3 (hình 2). Các thông tin về xe trong khoảng giữa hai điểm này là không xác định. Bên cạnh đó, bản thân các điểm tham chiếu này cũng có thể không phải là vị trí chính xác của ô tô tại các thời điểm cụ thể, bởi vì các vị trí này có thể chứa các thông tin lỗi do sai số của hệ thống GPS. Do đó, không cần thiết phải xác định chính xác các điểm đó trong phép tính xấp xỉ giá trị gia tốc như là một hàm phụ thuộc vào biến số thời gian. Quỹ đạo chuyển động được mô tả bởi các công thức sau:

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \int \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} dt; \\ \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} = \int \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} dt, \end{cases} \quad (1)$$

trong đó: x, y và z - các tọa độ của ô tô; v<sub>x</sub>, v<sub>y</sub> và v<sub>z</sub> - vận tốc của ô tô theo các hướng x, y và z; a<sub>x</sub>, a<sub>y</sub> và a<sub>z</sub> - gia tốc của ô tô theo các hướng x, y và z.

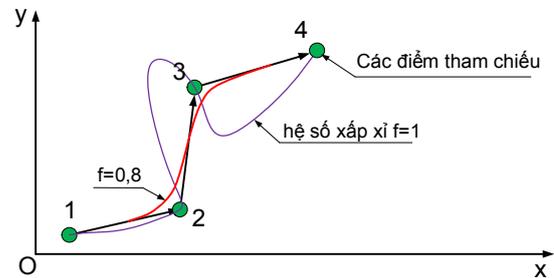
Đối với một tập hợp bất kỳ các điểm tham chiếu theo thời gian, giá trị gia tốc cần thiết để ô tô đi từ điểm tham chiếu này đến điểm tham chiếu liền kề tiếp theo có thể được tính bởi công thức sau:

$$\begin{bmatrix} a_x[n] \\ a_y[n] \\ a_z[n] \end{bmatrix} = f \frac{2}{(\Delta t)^2} \cdot \left( \begin{bmatrix} x[n+1] \\ y[n+1] \\ z[n+1] \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x[n] \\ y[n] \\ z[n] \end{bmatrix} - \Delta t \cdot \begin{bmatrix} v_x[n] \\ v_y[n] \\ v_z[n] \end{bmatrix} \right) \quad (2)$$

trong đó: a<sub>i</sub>[n] - gia tốc của ô tô khi chuyển động từ điểm n đến điểm n+1 theo phương x, y và z; Δt = t[n+1] - t[n] và t[n], t[n+1] - thời gian tại điểm n và n+1; x[n], x[n+1] - tọa độ của ô tô tại điểm n và n+1 theo phương x; v<sub>i</sub>[n] - vận tốc ban đầu tại điểm n; và f - hệ số xấp xỉ, có thể thay đổi từ 0 đến 1.

Hệ số xấp xỉ f xác định mức độ bám theo các điểm tham chiếu của đường quỹ đạo chuyển động mới được tạo thành

bởi công thức (1). Nếu hệ số bằng 1, quỹ đạo sẽ đi qua các điểm tham chiếu. Nếu hệ số nhỏ hơn 1, nó sẽ nằm gần các điểm tham chiếu. Ví dụ về đường quỹ đạo cho bốn điểm tham chiếu với các hệ số xấp xỉ khác nhau được trình bày trong hình 2.



Hình 2. Các đường quỹ đạo chuyển động với các hệ số xấp xỉ khác nhau

Mặc dù quỹ đạo giữa các điểm tọa độ thu được từ GPS đã được xử lý, nhưng các dữ liệu nhận được vẫn có sai số đáng kể do sử dụng phép tính tích phân. Để có thông tin chuyển động chính xác hơn, có thể sử dụng cảm biến đo gia tốc theo 3 phương (gia tốc kế). Gia tốc thu được từ gia tốc kế hoàn toàn không phụ thuộc vào các yếu tố bên ngoài.

Khi xử lý dữ liệu thu được từ gia tốc kế và con quay hồi chuyển, cần phải tính đến việc dữ liệu đó có sai số. Bởi vì, khi thực hiện phép tính tích phân, sẽ có sai số tích lũy trong đại lượng vận tốc và vị trí. Tuy nhiên, nếu kết hợp cùng quỹ đạo nội suy (quỹ đạo được tạo bởi các dữ liệu đã được xử lý thu được bằng GPS) tuy có thể có lỗi vị trí tức thời nhưng không chứa sai số tích lũy. Các dữ liệu gia tốc này có thể được sử dụng cho hiệu chỉnh.

Bằng cách theo dõi độ lệch của quỹ đạo được tạo bởi các dữ liệu từ gia tốc kế so với quỹ đạo nội suy, các giá trị gia tốc có thể được hiệu chỉnh sao cho sai số của phép tính tích phân được loại bỏ bằng biểu thức sau:

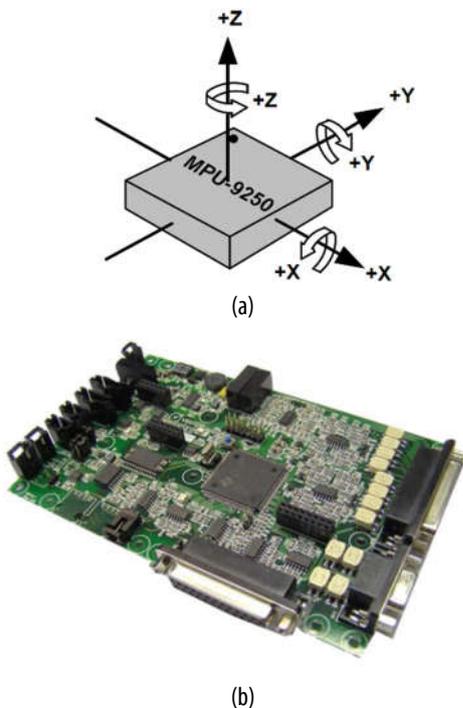
$$\begin{bmatrix} a_{x\_hc}[k+1] \\ a_{y\_hc}[k+1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{x\_gt}[k+1] + K_{hc} [x_{GPS}[k+1] - x_{hc}[k]] \\ a_{y\_gt}[k+1] + K_{hc} [y_{GPS}[k+1] - y_{hc}[k]] \end{bmatrix} \quad (3)$$

trong đó: a<sub>x<sub>hc</sub></sub>[k+1], a<sub>y<sub>hc</sub></sub>[k+1] - gia tốc của quỹ đạo hiệu chỉnh tại thời điểm [k+1]; a<sub>x<sub>gt</sub></sub>[k+1], a<sub>y<sub>gt</sub></sub>[k+1] - gia tốc thu được bởi gia tốc kế tại thời điểm [k+1]; K<sub>hc</sub> - hệ số hiệu chỉnh; x<sub>GPS</sub>[k+1], y<sub>GPS</sub>[k+1] - các tọa độ của quỹ đạo nội suy tại thời điểm [k+1]; x<sub>hc</sub>[k], y<sub>hc</sub>[k] - các tọa độ của quỹ đạo hiệu chỉnh tại thời điểm [k].

Việc hiệu chỉnh được thực hiện bằng cách thay đổi hệ số K<sub>hc</sub> sao cho quỹ đạo hiệu chỉnh có xu hướng tiến sát tới quỹ đạo nội suy.

Thực nghiệm sử dụng vi điều khiển MPU 9250 của hãng InvenSense (hình 3a). Nó được tích hợp 3 trục gia tốc hướng (Accelerometer), 3 trục góc quay (Gyroscope), được điều khiển bởi bản mạch MK19.2 (hình 3b) có vi điều khiển TMS320F28335 của hãng Texas Instruments (TI). Sử dụng ngôn ngữ C++ trên phần mềm Code Composer Studio (CCS)

của hãng Texas Instruments (TI) để viết chương trình đọc giá trị gia tốc, góc quay từ MPU9250, thuật toán xử lý hiện tượng "trôi" gây ra sai số khi nhận các dữ liệu từ hai cảm biến gia tốc và cảm biến con quay hồi chuyển có trong MPU9250 bằng phương pháp sử dụng bộ lọc Madgwick.



Hình 3. Cảm biến và bộ điều khiển sử dụng trong thực nghiệm

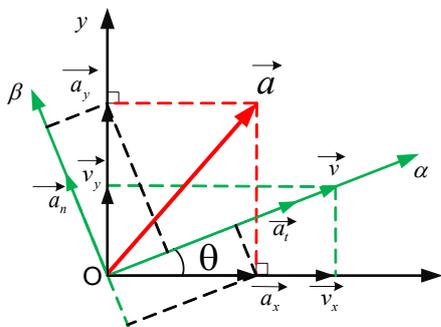
**2.3. Xác định gia tốc tiếp tuyến và gia tốc pháp tuyến**

Để tính toán lực kéo của ô tô tại một điểm bất kỳ trong quỹ đạo chuyển động, cần phải xác định giá trị của gia tốc tiếp tuyến  $a_t$  và gia tốc pháp tuyến  $a_n$ . Gia tốc tiếp tuyến liên quan đến giá trị vận tốc tuyệt đối của ô tô, còn gia tốc pháp tuyến xác định bán kính góc cua của xe.

Vận tốc của ô tô trong hệ tọa độ cực được tính bằng công thức:

$$\begin{bmatrix} v \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \\ \text{atan2}(v_x, v_y) \end{bmatrix} \tag{4}$$

trong đó,  $v$  - giá trị tuyệt đối của vận tốc và  $\theta$  - góc của véc tơ vận tốc.



Hình 4. Phương pháp biến đổi trong tọa độ cực

Gia tốc tiếp tuyến và pháp tuyến của ô tô khi thay đổi hướng chuyển động có thể được xác định bằng phép biến đổi tọa độ (hình 4):

$$\begin{bmatrix} a_t \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_x \cos\theta + a_y \sin\theta \\ -a_x \sin\theta + a_y \cos\theta \end{bmatrix} \tag{5}$$

**3. MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA Ô TÔ**

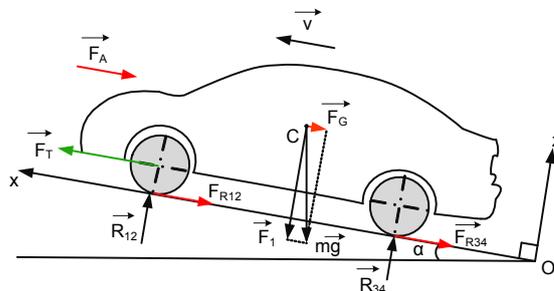
Ô tô được mô hình hóa bởi các phương trình vi phân động lực học tương ứng dựa trên các định luật vật lý mô tả chuyển động của nó. Công suất và mô men đặt lên trục động cơ là những đại lượng đặc trưng cho động lực học, còn vận tốc tuyến tính và vận tốc góc, gia tốc tuyến tính và gia tốc pháp tuyến được gọi là các thông số chuyển động của xe. Mô hình này được đánh giá là tin cậy để nghiên cứu khả năng của hệ truyền động kéo và giải thích việc sử dụng gia tốc thu được từ công thức (5) để đánh giá các thông số cần thiết của hệ dẫn động.

Hình chiếu của tổng véc tơ các lực tác dụng lên ô tô đang chuyển động  $m\vec{a} = \vec{F}_T + \vec{P} + \vec{F}_A + \vec{F}_{R12} + \vec{F}_{R34} + \vec{R}_{12} + \vec{R}_{34}$  lên các trục Ox và Oz được mô tả bằng các biểu thức:

$$\frac{ma_t}{\cos\alpha} = F_T - F_G - F_A - F_{R12} - F_{R34} \tag{6}$$

$$F_1 = R_{12} + R_{34} \tag{7}$$

trong đó,  $F_T$  - lực kéo;  $F_G$  - hình chiếu của trọng lực theo phương song song với mặt đường;  $F_A$  - lực cản không khí;  $F_{R12}, F_{R34}$  - lực cản lăn của các bánh xe;  $R_{12}, R_{34}$  - các phản lực tác dụng lên các bánh xe;  $\alpha$  - góc dốc của mặt đường.



Hình 5. Mô hình động lực học của ô tô

Từ phương trình (6) thu được lực kéo cần thiết:

$$F_T = \frac{ma_t}{\cos\alpha} + F_G + F_A + F_{R12} + F_{R34} \tag{8}$$

Giả thiết hiệu suất của hệ thống truyền lực bằng 1, ta có thể xác định được công suất động cơ bằng cách nhân lực kéo với vận tốc:

$$P = F_T v \tag{9}$$

Mô men xoắn trên trục của động cơ kéo, không tính đến hiệu suất của hộp số, được tính theo bán kính bánh xe  $R_{bx}$  và tỷ số truyền của hộp số  $i$

$$M = \frac{P}{i v} R_{bx} \tag{10}$$

Để phân tích chính xác, cũng cần tính đến rằng, trong thực tế khi chuyển động, ô tô luôn chịu sự tác dụng của các

lực theo phương ngang, đó có thể là: lực thành phần của trọng lực; lực của gió; lực ngẫu nhiên nào đó khi đi qua chỗ mấp mô của mặt đường... Dưới tác dụng của những lực này, xuất hiện hiện tượng “bê lái”. Nguyên nhân là do véc tơ vận tốc của bánh xe so với mặt phẳng quay của nó bị lệch một góc  $\sigma_{ps}$ , góc lệch này có thể có độ lớn từ 7 - 8° [9], điều này dẫn đến tăng hệ số ma sát giữa lốp và mặt đường.

Công thức tổng quát của lực ma sát lăn:

$$F_R = F_{R12} + F_{R34} = \sum_{i=1}^n F_{ki} = \sum_{i=1}^n f_i R_i = f_k mg \cos \alpha \quad (11)$$

trong đó,  $f_i$  - hệ số cản lăn tại các bánh xe của ô tô;  $n$  - số lượng bánh xe ( $n = 4$  đối với ô tô con);  $f_k = f_0 [1 + (0,0216v)^2]$ , trong đó  $f_0$  - hệ số cản lăn tại các bánh xe khi chuyển động với tốc độ thấp trên đường nhựa,  $f_0 = 0,015 - 0,020$ ;  $v$  - vận tốc của ô tô [9].

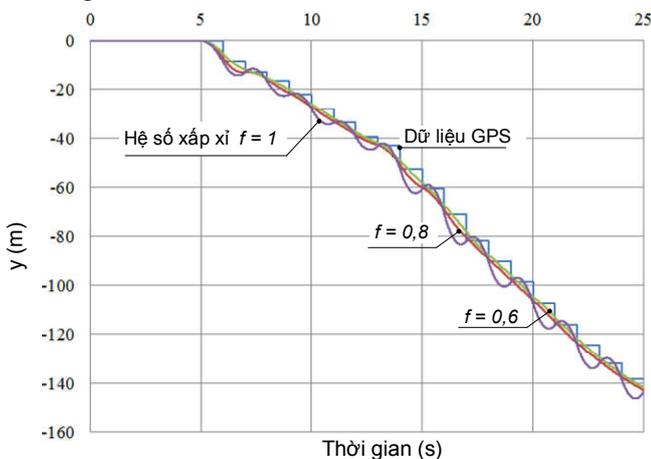
Lực cản không khí ( $F_A$ ) là lực cản khí động học tác dụng lên xe khi chuyển động về phía trước, được tính bằng công thức sau:

$$F_A = \frac{1}{2} c_x \rho A v^2 \quad (12)$$

trong đó:  $c_x$  - hệ số lực cản không khí, phụ thuộc và hình dáng của xe,  $c_x$  nhận giá trị 0,15 ÷ 0,7;  $\rho$  - khối lượng riêng của không khí ( $\text{kg/m}^3$ ),  $\rho = 1,225(\text{kg/m}^3)$ ;  $A$  - diện tích mặt trước của ô tô ( $\text{m}^2$ ) [9].

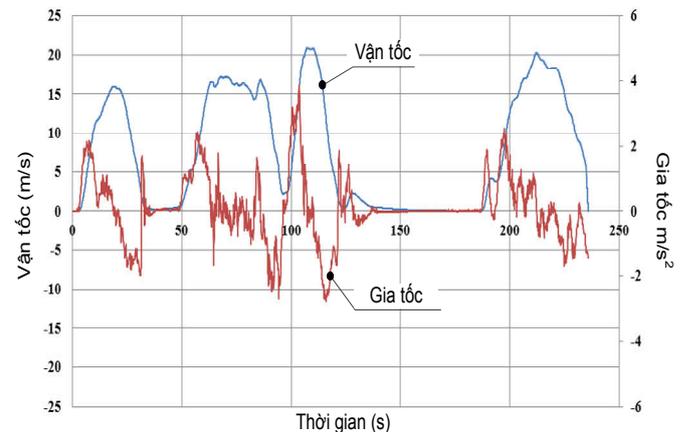
#### 4. THỬ NGHIỆM

Thử nghiệm được tiến hành trên ô tô 4 chỗ. Hình 6 biểu diễn một phần của quỹ đạo chuyển động và các quỹ đạo gần đúng của nó với các hệ số xấp xỉ  $f$  khác nhau. Dễ dàng nhận thấy, đường quỹ đạo chuyển động của ô tô với  $f = 1$  (đường màu tím) có độ dao động lớn, ứng với trường hợp khi ô tô giảm tốc và dừng, gia tốc của xe sẽ thay đổi và bằng giá trị âm, và sau đó tiến đến giá trị 0. Khi  $f = 0,6$  quỹ đạo tương đối trơn nhưng có xu hướng đi lệch ra xa các điểm tham chiếu một khoảng lớn hơn sai số của bộ thu GPS (đường xanh lá cây). Kết quả tốt nhất thu được với  $f = 0,8$ ; khi đó đường quỹ đạo (đường màu đỏ) không có độ dao động và bám theo các điểm tham chiếu.



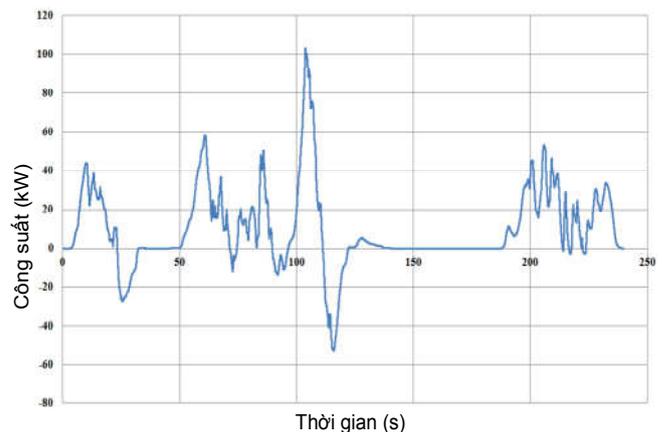
Hình 6. Kết quả của quá trình xử lý một phần tuyến đường

Đồ thị gia tốc tiếp tuyến và vận tốc theo thời gian của quỹ đạo chuyển động được trình bày trên hình 7.



Hình 7. Đồ thị vận tốc và gia tốc

Công suất cần thiết của động cơ được tính bằng tích của lực kéo và vận tốc của ô tô theo công thức (9). Hình 8 mô tả công suất của ô tô đang chuyển động, các điểm cực đại của công suất ứng với thời điểm xe tăng tốc. Phần đồ thị nằm dưới trục hoành, biểu thị các khoảng thời điểm xe giảm tốc độ (đạp phanh).



Hình 8. Đồ thị công suất cần thiết của động cơ

#### 5. KẾT LUẬN

Phương pháp phân tích và xử lý dữ liệu đã cung cấp những thông tin cần thiết và chính xác về quỹ đạo chuyển động của xe ô tô dựa trên hệ thống định vị toàn cầu GPS và được hiệu chỉnh bằng các dữ liệu thu được từ các cảm biến gia tốc. Đây là những dữ liệu đầu vào cho mô hình toán học của hệ thống cơ và điện của ô tô để phân tích công suất, mức tiêu thụ năng lượng tại từng thời điểm của xe trong cả quá trình di chuyển theo một quỹ đạo nhất định.

Có thể sử dụng kết quả của nghiên cứu này cho việc xây dựng mô hình xe ô tô lai (hybrid) để đánh giá sự tiết kiệm nhiên liệu so với ô tô tuyến thống.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Abdul Waheed, Katja Buss, 2016. *Modeling and validation of a three-dimensional thermoelectric model of a 50 Ah lithium-iron-phosphate battery cell at*

three different ambient temperatures in the New European Driving Cycle (NEDC). AmE 2016 - Automotive meets Electronics; 7th GMM-Symposium.

[2]. A. S. Anuchin, M. F. Kozachenko, M. M. Lashkevich, V. N. Ostrov, A. M. Rusakov, 2015. *State and development prospects of electric transmission for electric and hybrid vehicles for 2015*. Collection of reports of the scientific and technical conference "Topical issues and prospects for the development of electrical engineering", pp. 43-50.

[3]. B. Wallace, M. Rockwood, R. Goubran, F. Knoefel, S. Marshall, M. Porter, 2015. *Measurement of vehicle acceleration in studies of older drivers from GPS position and OBDII velocity sensors*. 2015 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications Proceedings, pp. 391-396.

[4]. Li Shen, Peter R. Stopher, 2014. *Review of GPS Travel Survey and GPSData-Processing Methods*. Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal, DOI:10.1080/01441647.2014.903530

[5]. K. Oduan, B. Guinot, Yu. S. Domina V.M. Tatarenkova, MB Kaufman, 2002. *Time measurement. Basics of GPS*. Moscow: Technosphere, 400p.

[6]. Yu. A. Soloviev, 2000. *Satellite navigation systems*. M.: Eco-Trends, 270p.

[7]. Qayyum Ejaz, Mohsin Zeeshan, Malik Junaid, 2013. *Real-time Vehicle Tracking System Using GPS & GSM*. Lap Lambert Academic Publishing GmbH

[8]. Irum Sanaullah, 2013. *Real-time Estimation of Travel Time Using Low Frequency GPS Data from Moving Sensors*. Loughborough University, 2013

[9]. V. K. Vakhlamov, M. G. Shatrov, A. A. Yurchevsky; Ed. A. A. Yurchevsky, 2003. *Cars: Theory and design of the car and engine: Textbook for students*. Institutions of Environments. prof. Education/M.: Publishing Center "Academy", 816p.

---

#### AUTHORS INFORMATION

**Tran Xuan Trung<sup>1</sup>, Nguyen Huu Nam<sup>2</sup>, Phung Van Binh<sup>1</sup>, Vu Hai Ha<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Department of Aerospace Technology and Equipment (DATE), Le Quy Don Technical University

<sup>2</sup>Department of Automation and Computing Techniques (DACT), Le Quy Don Technical University

<sup>3</sup>Military Technical Automation Institute