

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL** (11) **241075**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **434116**

(51) Int.Cl.
B60W 10/00 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **29.05.2020**

(54) **Sposób kalibracji układu sterowania osią skrętną autonomicznego pojazdu kołowego**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
06.12.2021 BUP 36/21

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
01.08.2022 WUP 31/22

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, Gliwice, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:

WITOLD ILEWICZ, Ruda Śląska, PL

DAMIAN GRZECHCA, Gliwice, PL

ADAM ZIĘBIŃSKI, Zabrze, PL

PIOTR BIERNACKI, Kuleje, PL

WERONIKA GORNIG, Głogówek, PL

KORDIAN OKULARCZYK, Masłowskie, PL

WOJCIECH MAZUR, Ruda Śląska, PL

JAROSŁAW URBANEK, Mysłowice, PL

CEZARY MAŁEK, Knurów, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Katarzyna Borkowy

PL 241075 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób kalibracji układu sterowania osią skrętną autonomicznego pojazdu kołowego, mający zastosowanie szczególnie do bezzałogowych pojazdów kołowych o dwóch osiach, gdzie zmianę kierunku jazdy uzyskuje się przez skręt kół. Wynalazek może być stosowany w każdym przypadku, gdy z określonych powodów takich jak: brak dostępnej dokumentacji technicznej, nieznana jest dokładnie zależność między wartością sterującą kątem skręcenia kół, a wynikającą z niej wartością promienia (średnicy) skrętu pojazdu. Dokładność takiej kalibracji jest kluczowa do uzyskania odpowiedniej dokładności sterowania skrętem (krzywizną skrętu) pojazdu.

Sterowanie kierunkiem ruchu autonomicznego pojazdu kołowego polega na wymuszaniu chwilowej wartości zadanej krzywizny ruchu pojazdu ρ ($\rho = 1/r$, gdzie r jest chwilowym promieniem skrętu pojazdu), lub też równoważnie promienia skrętu pojazdu r , poprzez odpowiednią nastawę kąta skrętu α kół osi skrętnej poruszającego się pojazdu, według zależności $r = g(\alpha)$. Nastawy kąta α dokonuje się poprzez serwomechanizm sterowany elektrycznie. Algorytm sterujący ruchem pojazdu określa chwilową wartość zadaną promienia skrętu r^* . Na tej podstawie należy określić w odpowiednich jednostkach (V, PWM, itp.) wartość sygnału elektrycznego sterowania $s = \phi(r^*)$ na wejściu serwomechanizmu o charakterystyce statycznej $\alpha = f(s)$ nastawiającego kąt skręcenia kół α . Ustawienie właściwego kąta skręcenia kół α determinuje, że przy utrzymywanej stałej wartości sterowania s oraz wymuszeniu ruchu osi napędowej, pojazd porusza się po okręgu o promieniu r , którego wartość powinna być równa wartości zadanej r^* . Funkcja $s = \phi(r^*)$, przekształcająca wartość zadaną promienia skrętu r^* (wyznaczoną w nadrzędnym systemie sterowania) na wartość sygnału elektrycznego w odpowiednich jednostkach, jest krzywą kalibracyjną, którą należy wyznaczyć, aby można było efektywnie sterować kierunkiem ruchu pojazdu autonomicznego. Z matematycznego punktu widzenia, krzywa kalibracyjna $s = \phi(r^*)$ jest funkcją odwrotną do złożenia funkcji $f(s)$ i $g(\alpha)$.

W praktyce dokładne wyznaczenie funkcji $f(s)$ i $g(\alpha)$ w celu wyznaczenia $\phi(r^*)$ jako funkcji odwrotnej do złożenia funkcji $f(s)$ i $g(\alpha)$ jest trudne. Funkcja $f(s)$ to charakterystyka statyczna zastosowanego serwomechanizmu, która często nie jest znana w gotowym rozwiązaniu autonomicznego pojazdu kołowego. Można ją zmierzyć, w tym celu należy dysponować odpowiednim stanowiskiem kalibracyjnym dostosowanym do konkretnego pojazdu, co często w praktyce nie jest osiągalne lub jest kosztowne. Funkcję $r = g(\alpha)$ można w przypadkach prostych mechanizmów skrętnych wyznaczyć teoretycznie [1,2,3], jednak wymagana jest dokładna znajomość budowy i geometrii mechanizmu skrętnego, często niedostępna dla użytkownika gotowego rozwiązania. Niedogodnością powyższych rozwiązań jest trudność ich zastosowania w praktyce.

Celem wynalazku jest podanie prostego sposobu zebrania danych doświadczalnych do wyznaczenia krzywej kalibracyjnej $\phi(r^*)$ przy zapewnieniu dużej dokładności jej wyznaczenia bez konieczności znajomości funkcji $f(s)$ i $g(\alpha)$ oraz korzystania z drogich i specjalistycznych stanowisk kalibracyjnych.

Cel ten osiągnięto poprzez zaproponowanie bezpośredniego sposobu pomiaru zależności promienia skrętu $r(s)$, jako funkcji odwrotnej do $\phi(r^*)$, łatwego do przeprowadzenia technicznie i nie wymagającego skomplikowanych stanowisk pomiarowych.

Sposób kalibracji układu sterowania osią skrętną autonomicznego pojazdu kołowego **polega na tym, że** wymusza się ruch pojazdu autonomicznego po okręgach o różnych promieniach, poprzez zadanie zbioru dobranych, stałych wartości elektrycznego sygnału $s = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$, korzystnie PWM lub napięcie stałe, sterujących skrętem kół osi skrętnej pojazdu, zarówno w lewo jak i w prawo, przy jednoczesnym wymuszeniu i utrzymaniu ruchu obrotowego osi napędowej pojazdu, korzystnie ze stałą prędkością, następnie dla każdej zadanej wartości s_i dokonuje się pomiaru średnicy $D(s_i)$ lub promienia $r(s_i) = D(s_i)/2$ okręgu, po jakim porusza się pojazd, natomiast zbiór zmierzonych wartości $D(s_i)$ lub $r(s_i) = D(s_i)/2$ wykorzystuje się do wyznaczenia krzywej kalibracyjnej $\phi(r^*)$ potrzebnej do sterowania pojazdem autonomicznym.

Zaletą rozwiązania według wynalazku jest podejście funkcjonalne, które nieznany obiekt identyfikuje za pomocą funkcji mapującej, co zapewnia dużą dokładność kalibracji przy jednoczesnej łatwości jej przeprowadzenia – nie jest potrzebne specjalistyczne stanowisko warsztatowe. Ponadto dokładność opisanej metody kalibracji wynika z faktu, że kalibracja jest dokonywana na przygotowanym do jazdy obiekcie, a otrzymane wyniki uwzględniają aktualny stan elementów pojazdu, taki jak eksploatacyjne niedoskonałości układu jezdnego zbieżność i jej rozregulowanie lub

zużycie opon, ciśnienie w oponach, czy też rzeczywisty współczynnik tarcia opony o podłoże w miejscu przeprowadzenia kalibracji.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania objaśniono na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia schemat blokowy charakterystyki statycznej układu sterowania skrętem pojazdu, gdzie:

- r^* – wartość zadana promienia skrętu pojazdu;
- $\phi(r^*)$ – funkcja przeliczająca wartość zadaną promienia skrętu na wartość elektrycznego sygnału sterującego s ;
- α – kąt skręcenia kół osi skrętnej;
- r – rzeczywisty promień skrętu pojazdu;
- $f(s)$ – charakterystyka serwomechanizmu nastawiającego kąt skręcenia kół;
- $g(\alpha)$ – zależność promienia skrętu r od kąta skręcenia kół α .

Fig. 2A przedstawia sposób kalibracji układu sterowania osią skrętną pojazdu poprzez zmierzenie średnic zatoczonych okręgów dla zbioru czterech wartości sterowań $s = \{s_1, s_2, s_3, s_4\}$, dla skrętu w prawo (zgodnie z ruchem wskazówek zegara), a Fig. 2B przedstawia uzyskaną na tej podstawie charakterystykę statyczną zależności średnicy skrętu pojazdu autonomicznego od wartości zadanych sterowań $D(s)$. Na podstawie wyznaczonej $D(s)$ wyznacza się krzywą kalibracyjną $\phi(r^*)$ – cel kalibracji. Podobną charakterystykę należy wyznaczyć dla skrętów w lewo (przeciwnie do ruchu wskazówek zegara). Konieczność wykonania pomiarów średnic okręgów dla skrętów w lewo i w prawo wynika z faktu, że w praktyce, dla rzeczywistych pojazdów, charakterystyki $r(s)$ dla skrętu w lewo i w prawo zwykle nie są identyczne.

Innym zagadnieniem jest wybór liczby i wartości elementów s_i zbioru sterowań zadawanych podczas kalibracji. Można w tym wypadku zastosować zasady kalibracji przedstawione w [4]. Należy przy tym tak dobrać te wartości, aby kalibracja była praktycznie wykonalna, to znaczy wymiary okręgów lub fragmentów okręgów zataczanych przez pojazd nie przekraczają rozmiarów pomieszczenia lub terenu, gdzie przeprowadza się kalibrację.

Sposób pomiaru średnicy (promienia) zatoczonego okręgu nie jest przedmiotem wynalazku. Pomiaru średnicy (promienia) zatoczonego okręgu można dokonać znanymi środkami technicznymi: przykładowo poprzez przymocowanie do pojazdu markera przystosowanego do danego podłoża (pisak, kreda, kolec), który zaznaczy okrąg lub fragment okręgu wystarczający do wyznaczenia średnicy/promienia na podłożu, po którym porusza się pojazd, a następnie mierzy się za pomocą: miary rozwijanej, dalmierza laserowego, średnice wyznaczonych markerem okręgów. Innym sposobem jest rejestracja chwilowych położeń pojazdu w systemie komputerowym, podczas ruchu po okręgu, za pomocą systemu pozycjonowania takiego jak GPS lub UWB i wyznaczenie z tych danych odpowiednią metodą matematyczną, przykładowo metodą najmniejszych kwadratów, średnicy lub promienia okręgu po którym porusza się pojazd. Wymienione sposoby pomiaru średnicy (promienia) okręgu są znane i powszechnie stosowane w nauce i technice. Znajomość średnicy (promienia) okręgu po którym poruszał się pojazd oznacza wprost znajomość krzywizny toru ruchu pojazdu. W wynalazku przyjęto pomiar średnicy, gdyż na ogół łatwiej go technicznie zrealizować niż pomiar promienia, jednak możliwy jest również pomiar promienia okręgu.

Literatura

1. Khristamto M., Praptijanto A., Kaleg S.: Measuring geometric and kinematic properties to design steering axis to angle turn of the electric golf car. Energy Procedia 68 (2015), 463–470.
2. Seweryn Orzełowski: Budowa podwozi i nadwozi samochodowych. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, 2004 r., str. 66–67.
3. Przemysław Simiński: Zwrotność Pojazdów, ISBN 978-83-7798-017-0. Str. 13–15.
4. Piotrowski J., Kostyrko K.: Wzorcowanie aparatury pomiarowej. Wydawnictwo Naukowe PWN. Druga edycja (2012). ISBN-13: 978-83011705

Zastrzeżenie patentowe

1. Sposób kalibracji układu sterowania osią skrętną autonomicznego pojazdu kołowego **znamienny tym**, że wymusza się ruch pojazdu autonomicznego po okręgach o różnych promieniach, poprzez zadanie zbioru dobranych, stałych wartości elektrycznego sygnału $s = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$, korzystnie PWM lub napięcie stałe, sterujących skretem kół osi skrętnej pojazdu zarówno w lewo jak i w prawo, przy jednoczesnym wymuszeniu i utrzymaniu ruchu obrotowego osi napędowej pojazdu, korzystnie ze stałą prędkością, następnie dla każdej zadanej wartości s_i dokonuje się pomiaru średnicy $D(s_i)$ lub promienia $r(s_i) = D(s_i)/2$ okręgu, po jakim porusza się pojazd, natomiast zbiór zmierzonych wartości $D(s_i)$ lub $r(s_i) = D(s_i)/2$ wykorzystuje się do wyznaczenia krzywej kalibracyjnej $\alpha(r^*)$ potrzebnej do sterowania pojazdem autonomicznym.

Rysunki

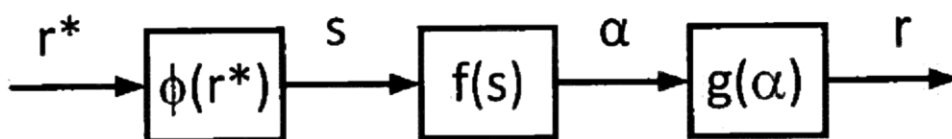


Fig.1

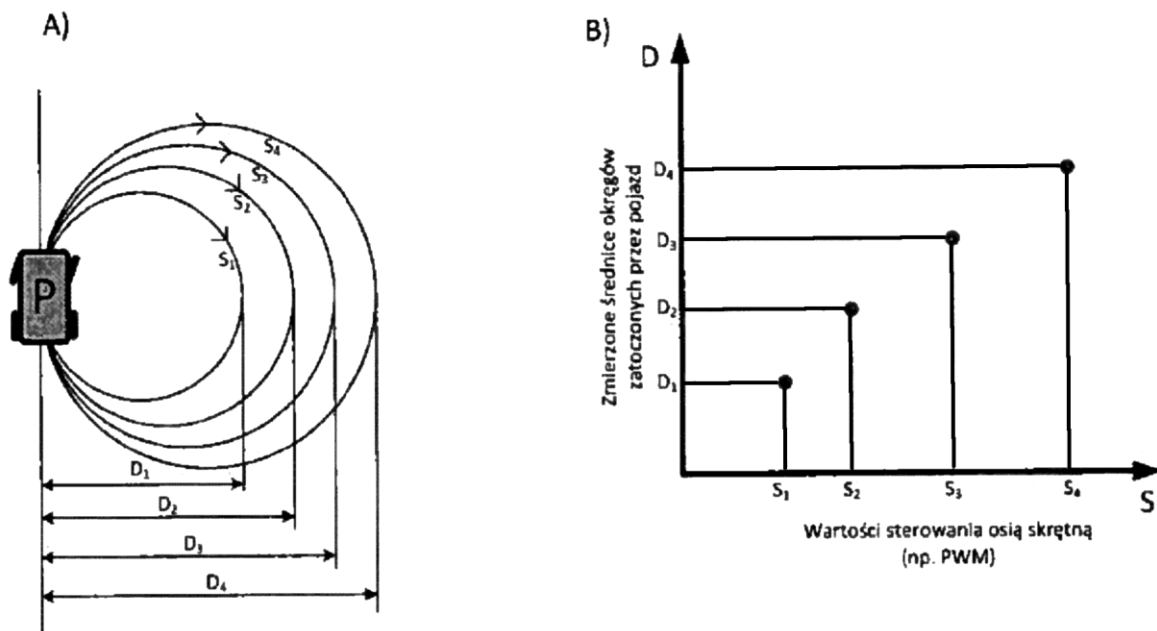


Fig.2