

GIDLEWSKA Grażyna, GIDLEWSKI Mirosław, KOCHANEK Hanna

METODY POZYCJONOWANIA SAMOCHODU CIĘŻAROWEGO NA JEZDNI W CZASIE AUTOMATYCZNEGO OMIJANIA NAGLE POJAWIAJĄCEJ SIĘ PRZESZKODY

Streszczenie

W artykule opisano metody geometrycznego śledzenia toru ruchu samochodu ciężarowego poruszającego się po prostej drodze. Znajomość chwilowego usytuowania samochodu na jezdni jest potrzebna do korygowania sygnałów sterujących kątem obrotu koła kierownicy pojazdu w czasie wykonywania manewru automatycznego omijania nagle pojawiającej się przeszkody. Wskazano wielkości, które należy pomierzyć, aby na ich podstawie wyznaczyć współrzędne dwóch punktów pojazdu wyrażone w układzie współrzędnych związanym z jezdnią. Wyprowadzono wzory opisujące współrzędne dwóch punktów samochodu w funkcji zmierzonych danych wejściowych. Oszacowano błędy wyznaczonych wielkości.

WSTĘP

Na Wydziale Mechanicznym Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu prowadzony jest projekt badawczy własny pt.: „Analiza możliwości wykorzystania elektrycznego układu kierowniczego do poprawy własności jezdnych samochodu ciężarowego w krytycznych sytuacjach drogowych”. Projekt stawia sobie za cel poprawę bezpieczeństwa czynnego samochodu ciężarowego w krytycznych sytuacjach drogowych. Cel zamierza się osiągnąć przez wyposażenie samochodu ciężarowego w elektryczny układ kierowniczy i wykorzystywanie właściwości tego układu w uzasadnionych przypadkach.

Cel projektu jest realizowany w oparciu o wyniki badań symulacyjnych. W badaniach modelowych wykorzystany jest istniejący już wcześniej i gruntownie zweryfikowany eksperymentalnie badaniami drogowymi model obliczeniowy samochodu ciężarowego. Model traktuje pojazd jako rozbudowany, przestrzenny i dyskretny układ dynamiczny, zbudowany na podstawie badań i obserwacji samochodu ciężarowego średniej ładowności i uwzględniający wszystkie najistotniejsze stopnie swobody rzeczywistego obiektu. Model pojazdu uwzględnia: mechanikę układu kierowniczego, mechanikę układu hamulcowego, mechanikę zawiesznień oraz mechanikę współpracy kół ogumionych z nawierzchnią jezdni [1,2]. Model samochodu umożliwia realizację większości testów badawczych stosowanych do badań kierowalności i stateczności ruchu pojazdu, w tym również realizację możliwych zakłóceń ruchu pojazdu, wymuszających zmianę toru ruchu samochodu w celu uniknięcia zderzenia. Model pojazdu umożliwia również symulację ruchu samochodu w warunkach pełnego poślizgu oraz w zmiennych warunkach drogowych. Model został przystosowany do zadań projektu m. in. poprzez wyposażenie go w elektryczny układ kierowniczy oraz w układ regulacji zapewniający pożądane zmiany wartości kąta obrotu koła kierownicy. W modelu samochodu uwzględniono ponadto obecność układów: antyblokującego ABS,

antyślizgowego ASR oraz stabilizacji toru ruchu ESP. Układ ESP jest układem nadrzędnym dla elektrycznego układu kierowniczego.

Model obliczeniowy pojazdu jest obecnie wykorzystywany do analizy skuteczności wspomagania kierowcy przez zastosowany w modelu elektryczny układ kierowniczy, w trakcie wykonywania manewru omijania nagle pojawiającej się przeszkody na torze ruchu samochodu.

Dla skutecznego zrealizowania manewru ominięcia nagle pojawiającej się przed pojazdem przeszkody konieczne jest stałe kontrolowanie pozycji samochodu na jezdni. Prezentowany artykuł pokazuje sposoby pozycjonowania samochodu na jezdni wykorzystywane w projekcie.

1. METODY WYZNACZANIA CHWILOWEGO USYTUOWANIA SAMOCHODU CIĘŻAROWEGO NA JEZDNI

1.1. Charakterystyka sytuacji drogowej poprzedzającej pojawienie się przeszkody na torze ruchu pojazdu

Założono, że samochód ciężarowy porusza się po prostym odcinku jezdni jednokierunkowej posiadającej co najmniej dwa pasy ruchu. Samochód wyposażony jest w skanery laserowe, radary i kamery monitorujące drogę przed, z boku i z tyłu pojazdu, w tym również przebieg linii ograniczających pasy ruchu na jezdni, w szczególności przebieg linii ograniczających pasy ruchu po którym porusza się samochód [3]. Linie proste ograniczające poszczególne pasy ruchu wyposażone są w cyklicznie rozmieszczone odbiorniki sygnałów wysyłanych przez czujniki umieszczone na samochodzie.

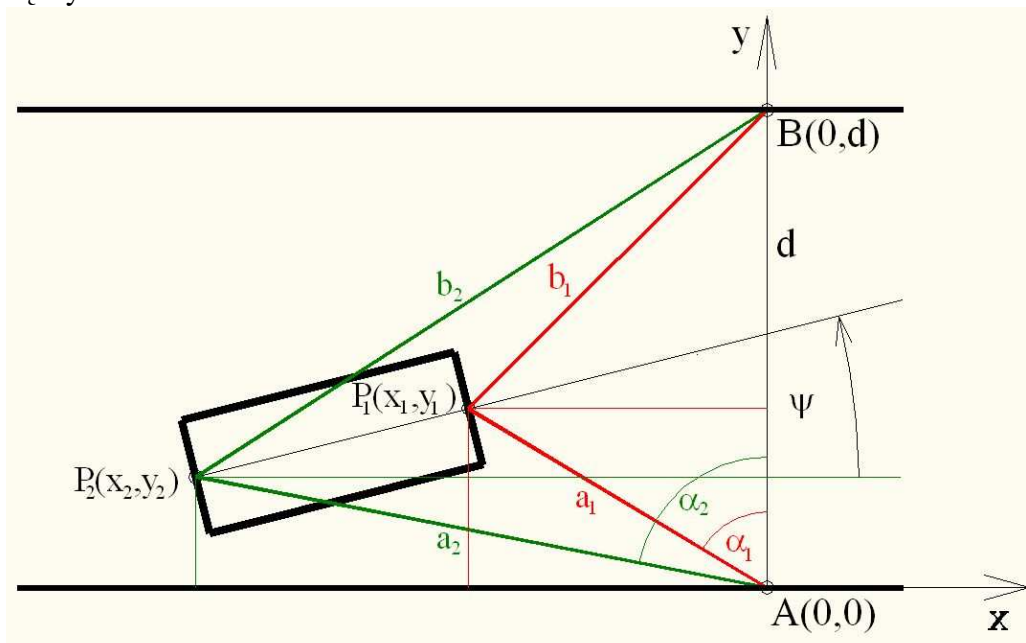
Aparatura pomiarowa umieszczona na samochodzie identyfikuje pasy ruchu, w obrębie którego porusza się pojazd względnie dwa pasy ruchu jeżeli samochód porusza się po dwóch pasach jednocześnie, ustala czy sąsiednie pasy ruchu nie są zajęte przez inne pojazdy, ustala położenie przeszkody na jezdni i mierzy odległość przodu samochodu od przeszkody. W celu pozycjonowania samochodu na jezdni zamontowane są na pojeździe dwa czujniki laserowe mierzące, z dużą częstotliwością, odległości punktów mocowania tych czujników od dwóch wybranych odbiorników sygnałów umiejscowionych cyklicznie, w stałych odstępach, na linii lub liniach ograniczających pasy ruchu lub pasy ruchu, po których porusza się samochód ciężarowy. To właśnie wyniki pomiarów tych czujników po odpowiednim przetworzeniu pozwalają na wyznaczenie wartości współrzędnych położenia środka masy samochodu ciężarowego oraz wartości kąta odchylenia osi wzdłużnej pojazdu w globalnym układzie współrzędnych związanym z drogą, czyli na usytuowanie samochodu na jezdni w każdej chwili ruchu samochodu.

1.2. Sposoby wyznaczenia położenia pojazdu na jezdni

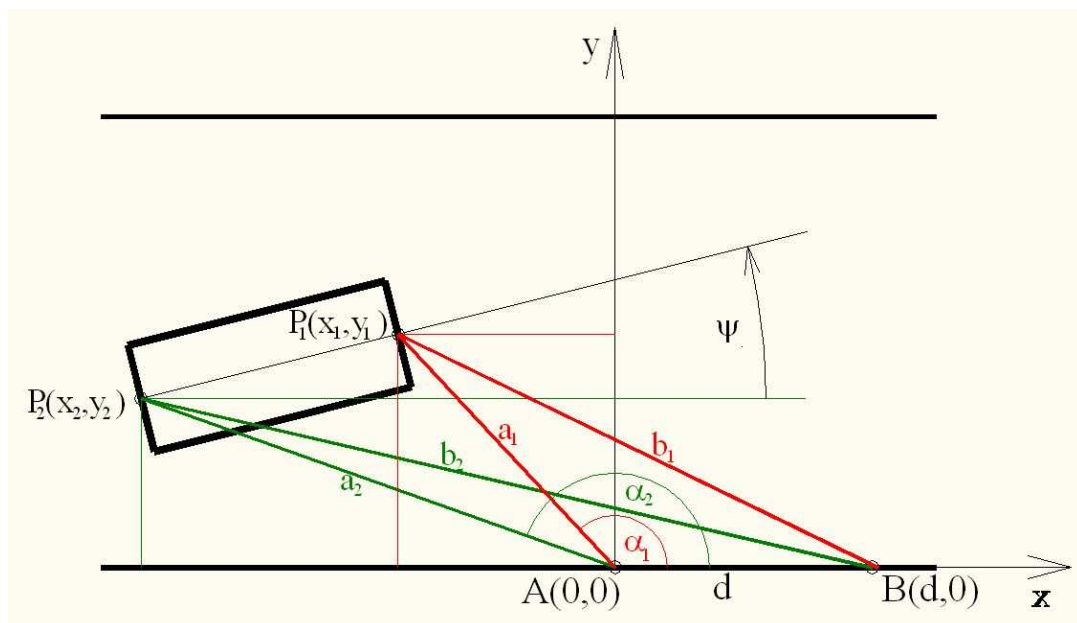
Zaproponowane w projekcie metody śledzenia położenia pojazdu na jezdni wykorzystują wybrane zależności geometryczne pomiędzy punktami umieszczenia na pojeździe nadajników wysyłających sygnały laserowe a punktami umieszczenia odbiorników tych sygnałów usytuowanych na liniach ograniczających pasy ruchu na jezdni. Założono, że na pojeździe umieszczone są odpowiednio w punktach P_1 i P_2 dwa nadajniki pozwalające na mierzenie ich odległości od dwóch punktów A i B (punkty umieszczenia odbiorników) zlokalizowanych na liniach ograniczających pasy ruchu (rys. 1, rys. 2). Rozważono przy tym dwa różne sposoby śledzenia odbiorników przez czujniki umieszczone na pojeździe:

- a) czujniki usytuowane na samochodzie śledzą i mierzą odległość od odbiorników znajdujących się po obu stronach pojazdu, tzn. na liniach ograniczających pasy ruchu z prawej (punkt A , rys. 1) i z lewej strony (punkt B , rys. 1); dodatkowo znana jest odległość pomiędzy odbiornikami d odpowiadająca szerokości pasa ruchu,

- b) czujniki usytuowane na samochodzie śledzą i mierzą odległość od odbiorników znajdujących po jednej stronie pojazdu, tzn. na liniach ograniczających pas ruchu z prawej (punkty **A** i **B**, rys. 2) lub z lewej strony pojazdu; dodatkowo znana jest odległość pomiędzy odbiornikami d .



Rys. 1 Rozmieszczenie nadajników (punkty P_1 i P_2) na pojeździe i odbiorników punkty (A i B) po obu stronach pojazdu na prawej i lewej linii ograniczającej pas ruchu



Rys. 2 Rozmieszczenie nadajników (punkty P_1 i P_2) na pojeździe i odbiorników punkty (A i B) po jednej stronie pojazdu na prawej linii ograniczającej pas ruchu

1.3. Wyznaczanie współrzędnych dwóch punktów P_1 i P_2 oraz kąta odchylenia ψ osi wzdłużnej pojazdu w układzie współrzędnych związanym z jezdnią

Zostanie przedstawiony sposób wyznaczania współrzędnych punktów P_1 i P_2 oraz kąta odchylenia ψ osi wzdłużnej pojazdu tylko dla przypadku rozmieszczenia odbiorników po obydwu stronach pojazdu (rys. 1). Dane wejściowe do obliczeń stanowią zmierzone

odległości czujników umieszczonych na samochodzie od odpowiednich odbiorników (*A* i *B*) umieszczonych na prawych i lewych liniach ograniczających pas jezdni, po którym porusza się samochód. Są to odpowiednio długości odcinków oznaczone jako a_1, b_1, a_2, b_2 na rys.1 oraz szerokość pasa ruchu d . Zadanie polega na wyrażeniu współrzędnych punktu $P_1(x_1, y_1)$ i punktu $P_2(x_2, y_2)$ oraz kąta odchylenia osi wzdłużnej pojazdu ψ w funkcji zmierzonych danych wejściowych.

Z twierdzenia cosinusów zastosowanego do trójkąta ABP_1 (rys. 1) otrzymujemy:

$$b_1^2 = d^2 + a_1^2 - 2da_1 \cos \alpha_1 \quad \Rightarrow \quad \cos \alpha_1 = \frac{d^2 + a_1^2 - b_1^2}{2da_1} \quad (1)$$

Dodatkowo zachodzą związki:

$$\frac{y_1}{a_1} = \cos \alpha_1 \quad \Rightarrow \quad y_1 = a_1 \cos \alpha_1, \quad x_1 = \sqrt{a_1^2 - y_1^2} \quad (2)$$

zatem

$$y_1 = \frac{d^2 + a_1^2 - b_1^2}{2d}, \quad x_1 = \sqrt{\frac{4a_1^2 d^2 - (d^2 + a_1^2 - b_1^2)^2}{4d^2}} \quad (3)$$

Postępując analogicznie dla trójkącie ABP_2 (rys. 1) otrzymujemy:

$$b_2^2 = d^2 + a_2^2 - 2da_2 \cos \alpha_2 \quad \Rightarrow \quad \cos \alpha_2 = \frac{d^2 + a_2^2 - b_2^2}{2da_2}$$

$$y_2 = \frac{d^2 + a_2^2 - b_2^2}{2d}, \quad x_2 = \sqrt{\frac{4a_2^2 d^2 - (d^2 + a_2^2 - b_2^2)^2}{4d^2}} \quad (4)$$

Wyznaczenie współrzędnych dwóch punktów samochodu w układzie związanych z jezdnią jednoznacznie pozycjonuje pojazd na powierzchni jezdni. Pozwala wyznaczyć również współrzędne środka masy pojazdu oraz kąt odchylenia wzdłużnej osi pojazdu ze wzoru:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{y_1 - y_2}{x_2 - x_1}, \quad \psi = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{y_1 - y_2}{x_2 - x_1} \quad (5)$$

1.4. Oszacowanie błędów wyznaczonych wielkości

Dla oszacowania błędów wyznaczanych w równaniach (4), (5), (6) wartości x_1, y_1, x_2, y_2, ψ w niniejszym opracowaniu zastosowano metodę różniczki zupełnej. Ponadto przyjęto, że:

- 1) zmierzone odległości a_1, b_1, a_2, b_2 obarczone są takim samym błędem Δl ,
- 2) w obliczeniach nie uwzględniany jest błąd odległości d .

Odpowiednie różniczki zupełne mają postać:

$$dy_1 = \frac{a_1}{d} \Delta l - \frac{b_1}{d} \Delta l \quad (6)$$

$$dy_2 = \frac{a_2}{d} \Delta l - \frac{b_2}{d} \Delta l \quad (7)$$

$$dx_1 = \frac{2a_1 d^2 - a_1(d^2 + a_1^2 - b_1^2)}{d\sqrt{4a_1^2 d^2 - (d^2 + a_1^2 - b_1^2)^2}} \Delta l + \frac{b_1(d^2 + a_1^2 - b_1^2)}{d\sqrt{4a_1^2 d^2 - (d^2 + a_1^2 - b_1^2)^2}} \Delta l \quad (8)$$

$$dx_2 = \frac{2a_2 d^2 - a_2(d^2 + a_2^2 - b_2^2)}{d\sqrt{4a_2^2 d^2 - (d^2 + a_2^2 - b_2^2)^2}} \Delta l + \frac{b_2(d^2 + a_2^2 - b_2^2)}{d\sqrt{4a_2^2 d^2 - (d^2 + a_2^2 - b_2^2)^2}} \Delta l \quad (9)$$

Uwzględniając założenia, że wyznaczone wartości a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , d są dodatnie oraz fakt, że w rozpatrywanych trójkątach kąty α_1 , α_2 są ostre otrzymujemy następujące oszacowania błędów:

$$\Delta y_1 \leq \frac{a_1 + b_1}{d} \Delta l \quad (10)$$

$$\Delta y_2 \leq \frac{a_2 + b_2}{d} \Delta l \quad (11)$$

$$\Delta x_1 \leq \frac{a_1(d^2 + b_1^2 - a_1^2) + b_1(d^2 + a_1^2 - b_1^2)}{d\sqrt{4a_1^2 d^2 - (d^2 + a_1^2 - b_1^2)^2}} \Delta l \quad (12)$$

$$\Delta x_2 \leq \frac{a_2(d^2 + b_2^2 - a_2^2) + b_2(d^2 + a_2^2 - b_2^2)}{d\sqrt{4a_2^2 d^2 - (d^2 + a_2^2 - b_2^2)^2}} \Delta l \quad (13)$$

Po oszacowaniu błędów $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta y_1, \Delta y_2$ szacujemy błąd wyznaczenia kąta ψ również metodą różniczki zupełnej:

$$\Delta \psi \leq \frac{|x_2 - x_1|(\Delta x_1 + \Delta x_2)}{(x_2 - x_1)^2 + (y_1 - y_2)^2} + \frac{|y_1 - y_2|(\Delta y_1 + \Delta y_2)}{(x_2 - x_1)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (14)$$

PODSUMOWANIE

Prawidłowa realizacja manewru omijania nagle pojawiającej się przeszkody na torze ruchu samochodu wykonywanego automatycznie przy wykorzystaniu elektrycznego układu kierowniczego wymaga ciągłego śledzenia pozycji samochodu na jezdni. Stałą kontrolę pozycji samochodu na jezdni umożliwia zamontowanie na pojeździe dwóch czujników laserowych mierzących odległość oraz cykliczne rozmieszczenie w stałych odstępach, na liniach ograniczających pasy ruchu, odbiorników sygnałów wysyłanych przez czujniki

umieszczone na samochodzie. Każdy z czujników umieszczonych na pojeździe mierzy odległości od wybranych dwóch odbiorników znajdujących się na jezdni. Na podstawie tak uzyskanych wyników pomiarów, po odpowiednim przetworzeniu, wyznaczane są chwilowe wartości współrzędnych punktów samochodu, w których umieszczone są nadajniki. Te z kolei pozwalają wyznaczyć wartości współrzędnych środka masy pojazdu oraz wartość kąta zawartego pomiędzy wzdłużną osią pojazdu i osią jezdni w układzie współrzędnych związanym z jezdnią oraz oszacować błędy pomiarowe wyznaczonych wielkości.

Opisane sposoby śledzenia pozycji samochodu na jezdni wykorzystano w badaniach modelowych prowadzonych w ramach realizacji projektu badawczego własnego nr N N509 568439, którego kierownikiem jest współautor artykułu.

BIBLIOGRAFIA

1. Gidlewski M.: *Opportunities to Investigate the Steering System to Improvement of Truck Driving Properties under Critical Road Conditions*. Archives of Transport nr 3/2011
2. Gidlewski M.: *Badania możliwości wykorzystania elektrycznego układu kierowniczego do poprawy własności jezdnych samochodu ciężarowego w krytycznych sytuacjach drogowych*. Logistyka nr 6/2010.
3. Gidlewski M., Kochanek H., Posuniak P.: *Metody wspomagania kierowcy w krytycznych sytuacjach drogowych*. TTS Technika Transportu Szynowego 9/2012

METHODS OF TRUCK POSITIONING ON THE ROAD DURING AN AUTOMATIC EMERGENCY EVASION MANEUVER OF A SUDDENLY APPEARING OBSTACLE

Abstract

The paper describes geometrical methods of monitoring a track of the vehicle moving on the straight road. Knowledge of a momentary vehicle position on the road is necessary to correct signals controlling the steering wheel angle during an automatic emergency evasion maneuver of a suddenly appearing obstacle. There are indicated magnitudes that should be measured in order to determine coordinates of two points in the vehicle expressed in the road coordinate system. Formulas describing coordinates of two points in the vehicle versus the measured input data were derived. Errors of the determined magnitudes were estimated.

Autorzy:

mgr inż. **Grażyna Gidlewska** – Uniwersytet Technologiczno – Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Mechaniczny

dr inż. **Mirosław Gidlewski** – Uniwersytet Technologiczno – Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Mechaniczny

dr inż. **Hanna Kochanek** – Uniwersytet Technologiczno – Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Mechaniczny