

Ocena wpływu konfiguracji struktury układu jezdnego robota na sterownię procesem jazdy w systemie teleoperacji

Marian J. Łopatka, Tomasz Muszyński, Arkadiusz Rubiec

Instytut Budowy Maszyn, Wojskowa Akademia Techniczna

email: marian.lopotka@wat.edu.pl, tomasz.muszynski@wat.edu.pl, arkadiusz.rubiec@wat.edu.pl

STRESZCZENIE: W referacie przedstawiono wyniki badań symulacyjnych wpływu struktury układu jezdnego robota na drgania i kołysania jego nadwozia podczas jazdy. Są one podstawowym czynnikiem ograniczającym operatorowi pracującemu w trybie teleoperacji zdolność do rozpoznania otoczenia oraz przeszkód, ponieważ wywołują one drgania obserwowanego obrazu otoczenia. Celem badań było zidentyfikowanie najkorzystniejszej struktury układu jezdnej platformy sześciokołowej o skręcie burtowym, generującej najmniejsze zaburzenia dla pracy kamer. W trakcie badań rozpatrzono 5 alternatywnych struktur układów jezdnych oraz wpływ położenia kamery na robocie na uzyskiwane zakłócenia. Do symulacji wymuszeń kinematycznych wykorzystano model toru testowego zgodnego z normą ISO 5008 : 2002 odzwierciedlającego podłoża o dużych nierównościach.

SŁOWA KLUCZOWE: roboty, teleoperacja, efektywność, układy jezdne, kołysania

1. Wprowadzenie

Mimo trwających od wielu lat prac nad autonomią działania robotów, nadal podstawowym sposobem ich kontroli jest zdalne sterowanie. W warunkach zagrożenia np. eksplozją, promieniowaniem, skażeniem chemicznym, bakteriologicznym lub innych niekorzystnych oddziaływań środowiskowych - zdalne sterowanie realizowane jest w trybie teleoperacji – bez bezpośredniej obserwacji robota, w oparciu o obraz otoczenia odbierany z zainstalowanych kamer. Większość obecnie wykorzystywanych robotów przeznaczona jest do realizacji zadań interwencyjno-manipulacyjnych. Stąd poruszają się na dystansach zwykle nie przekraczających 100 m, po relatywnie płaskim terenie, z prędkościami jazdy nie przekraczającymi 1-2 km/h. W takich warunkach proces teleoperacji nie stanowi problemu. Istnieje jednak rosnące zapotrzebowanie na roboty inspekcyjno-patrolowe. Powinny one poruszać się z prędkościami znacznie większymi – sięgającymi 10 km/h, często po podłożach nieutwardzonych. Wymuszenia kinematyczne, które wówczas występują wywołują znaczne kołysania nadwozia oraz umieszczonych na nim kamer.

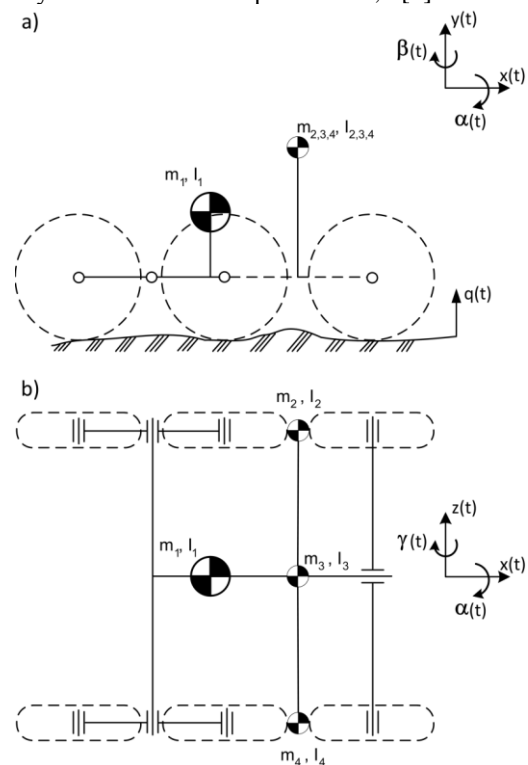
Celem badań symulacyjnych było stwierdzenie, czy odpowiednie ukształtowanie struktury 6-kołowego układu jezdnego, może zapewnić wysoką efektywność poruszania się robotów pracujących w systemie teleoperacji.

2. Analizowane struktury układów jezdnych

Do analizy wyselekcjonowano pięć struktur układów jezdnych. Rozpatrywane struktury (przykład – rys. 1) powinny zapewniać bardzo dobre kopiowanie przez układ jezdny terenu w celu zwiększenia sił przyczepności i zdolności pokonywania przeszkód stanowiąc jednocześnie bardzo dobre podparcie dla wykorzystywanych narzędzi i osprzętów.

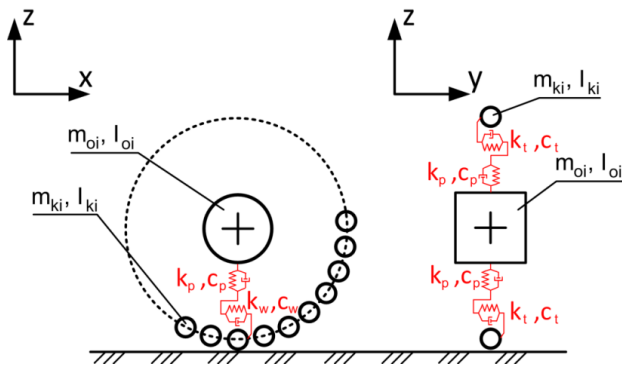
Pierwszą ocenianą w trakcie badań strukturą zawieszenia stanowił układ ze sztywnym połączeniem osi kół z nadwoziem. Jedynymi elementami wprowadzającymi do modelu właściwości sprężysto-tłumiące było ogumienie. W kolejnych strukturach układu zawieszenia, wprowadzano wózki jezdne, przeguby oraz elementy podatne, by w strukturze V uzyskać niezależne zawieszenie (każde z kół połączone jest z nadwoziem wahaczem

wzdłużnym, którego ruch ogranicza element sprężysto-tłumiący). Współczynniki sztywności zawieszenia poszczególnych osi zapewniają 10 cm statyczne pionowe przemieszczenie każdego koła. Współczynnik tłumienia dobrano tak aby osiągnąć wartość bezwymiarowego współczynnika tłumienia na poziomie 0,5 [2].



Rys. 1. Model Struktury III zawieszenia wraz z orientacją globalnego układu współrzędnych: a) widok z boku; b) widok od przodu; $q(t)$ – wymuszenie kinematyczne

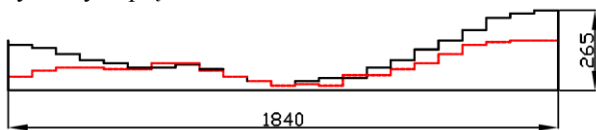
Model struktury opracowano w środowisku wieloczołowym (MSC Adams) przyjmując masy, momenty bezładności i rozmiary zidentyfikowane dla robota inżynierskiego „Rino”. W punktach m_2 , m_3 i m_4 symulowano zainstalowanie kamer. W badaniach wykorzystano model koła (rys. 2) opracowany przez zespół Instytutu Budowy Maszyn, opisany m.in. w [1, 3].



Rys. 2. Model koła wykorzystanego w trakcie badań numerycznych: k_p, c_p – współczynniki sztywności i tłumienia promieniowego, k_w, c_w – współczynniki sztywności i tłumienia obwodowego, k_t, c_t – współczynniki sztywności i tłumienia poprzecznego

3. Metodyka badań

W trakcie badań symulacyjnych modele platform zostały podane wymuszeniom kinematycznym $q(t)$, odpowiadającym torowi testowemu zgodnemu z normą ISO 5008 (rys. 3). Badania prowadzono ze stałymi zadanymi prędkościami jazdy wynoszącymi 4, 5 oraz 7 km/h, zgodnie z wymogami normy. Dzięki temu możliwe było określenie zdolności struktury układu jezdnego do minimalizacji wymuszeń działających na kamery systemu teleoperacji przy różnych prędkościach.



Rys. 3. Widok fragmentu toru testowego zgodnego z normą ISO 5008 stanowiącego wymuszenie kinematyczne $q(t)$:

kolor czarny – wymuszenie pod prawą burtą; kolor czerwony – wymuszenie pod lewą burtą

Do oceny efektywności pracy zawiesznień wykorzystano kryteria opracowane w Instytucie Budowy Maszyn WAT, przedstawione w [1]. Wskazują one, że najistotniejsze dla właściwego rozpoznawania otoczenia są prędkości kątowe kamer, a zwłaszcza prędkości kołysania wzdłużnego (względem osi poprzecznej). Zawieszenie można uznać za bardzo dobre, gdy wartość skuteczna prędkości kątowej nadwozia wokół osi wzdłużnej α_{RMS} jest mniejsza niż $1,7 \text{ deg/s}$, wokół osi poprzecznej γ_{RMS} jest mniejsza niż $1,4 \text{ deg/s}$, a ich wypadkowa ω_{RMS} jest mniejsza niż $1,0 \text{ deg/s}$, natomiast zawieszenie jest zaledwie akceptowalne, gdy wartość skuteczna prędkości kątowej nadwozia wokół osi wzdłużnej α_{RMS} sięga $6,6 \text{ deg/s}$, wokół osi poprzecznej γ_{RMS} sięga $4,5 \text{ deg/s}$, a ich wypadkowa ω_{RMS} sięga $8,6 \text{ deg/s}$. Kryteria stosowane do oceny zawiesznień pojazdów załogowych [2] są w tym przypadku mało przydatne.

4. Wyniki badań

Wykonanie badań z różnymi prędkościami jazdy umożliwiło ocenę struktur pod kątem ich wrażliwości na zmianę prędkości jazdy i jej wpływu na wartość wielkości jakie oddziałują na kamery systemu teleoperacji.

Najmniejszy wpływ zmiany prędkości jazdy na drgania kamer systemu teleoperacji wystąpił w przypadku struktur III (rys.1) oraz V (zawieszenie niezależne). Struktura I (zawieszenie sztywne) jest strukturą najbardziej „czułą” na zmiany prędkości jazdy. Cechowała się ona jednak największą stabilnością kierunkową ruchu.

Przykładowe wskaźniki oceny zawiesznień uzyskane w trakcie symulacji dla prędkości 4 km/h przedstawia tab.1. Ponieważ najkorzystniejsze wskaźniki osiągnęła struktura V, przeprowadzono dodatkowe symulacje dla dwukrotnie mniejszej sztywności elementów podatnych i oznaczono ją jako struktura Va. Uzyskane wskaźniki są 2-3-krotnie lepsze od alternatywnych rozwiązań i zbliżają się do wartości bardzo dobrych, mimo działania bardzo niekorzystnych wymuszeń kinematycznych i braku optymalizacji parametrów tego rozwiązania.

Tabela 1. Średnia wartość skuteczna prędkości kątowej wokół osi wzdłużnej, poprzecznej i prędkości kątowej wypadkowej badanych struktur zawieszenia przy prędkości 4 km/h

Wariant struktury zawieszenia	α_{RMS} , deg/s	γ_{RMS} , deg/s	ω_{RMS} , deg/s
I	3,4	4,3	6,3
II	5,3	4,2	7,2
III	3,2	4,1	4,7
IV	3,1	5,8	5,9
V/Va	2,6/1,9	4,1/2,3	3,7/2,4

5. Podsumowanie

- Przeprowadzone badania umożliwiły:
 - ocenę drgań i kołysań kamer jakim one ulegają pod wpływem wymuszeń kinematycznych podczas jazdy;
 - ocenę wrażliwości różnych struktur na zmiany prędkości jazdy;
 - ocenę wpływu różnych struktur na stabilność kierunkową ruchu platformy.
- Zgodnie z przyjętymi kryteriami wszystkie badane struktury układu zawieszenia można uznać jako cechujące się dobrym poziomem efektywności działania.
- Najkorzystniejszym rozwiązaniem z punktu widzenia ograniczenia kołysań kamer i zapewnienia wysokiej efektywności teleoperacji podczas jazdy jest struktura o niezależnym zawieszeniu. Nie stanowi ona jednak stabilnej platformy dla manipulatorów i innych osprzętów. Pod tym względem korzystniejsza jest struktura III.

Literatura

- Dąbrowska A., Jaskółowski M.B., Rubiec A., *Cameras vibrations influence on efficiency of teleoperated Unmanned Ground Vehicle*, Proceedings of 21st International Conference on Method and Models in Automation and Robotics Międzyzdroje 2016, IEEE, pp. 414-419, New York 2016
- Borkowski W., Rybak P., Michałowski B.: *Influence of tracked vehicle suspension type on dynamic loads of crew and inside equipment*. Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol.13, No.4. Warszawa 2006
- Jaskółowski M., Krogul P., Łopatka M. J., Muszyński T., Przybysz M.: *Simulation research on terrain mobility of wheeled UGV for dismounted operation support*. Proceedings of 13th European Conference of the International Society for Terrain Vehicle Systems. Rome 2015.