SELECTION OPERATOR'S INTERFACE FOR UNMANNED ENGINEERING MACHINE

DOBÓR INTERFEJSU OPERATORA DLA BEZZAŁOGOWEJ MASZyny INŻYNIERYJNEJ

Adam Bartnicki, Andrzej Typiak, Rafał Typiak

Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego

e-mail: abartnicki@wat.edu.pl, atypiak@wat.edu.pl, rtypiak@wat.edu.pl

Abstract: *Effective execution of tasks by remote-controlled engineering machine is dependent on the ability to run a way the machine operator. This is possible through the development an interface for remote both manipulation and perception. The paper presents results of elaboration of two types of interface. Portable desktop machine to control the implementation of ad-hoc tasks and landline operator position to achieve long-term jobs that require precise control of two-piece machine equipment: manipulator and loading.*

Keywords: *remote control, operator interface, control station*

Streszczenie: *Efektywna realizacja zadań przez zdalnie sterowane maszyny inżynierskie zależy od zdolności do działania oddalonego od maszyny operatora. Możliwe jest to przez opracowanie interfejsu umożliwiającego zdalną manipulację i zdalną percepcję. W referacie przedstawiono wyniki prac nad opracowaniem dwóch rodzajów interfejsu. Przenośnego pulpitu do sterowania maszyną przy realizacji doraźnych zadań i stacjonarnego stanowiska operatorskiego do realizacji długotrwałych prac wymagających precyzyjnego sterowania dwuczłonową maszyną wyposażoną w osprzęty manipulacyjny i załadowniczy.*

Słowa kluczowe: *zdalne sterowanie, interfejs operatora, stanowisko sterowania*

1. Wstęp

Przeznaczeniem systemów zdalnego sterowania jest nie tylko odizolowanie operatora od oddziaływań środowiska, ale także dążenie do zwiększenia potencjału ludzkiego w zakresie zasięgu, siły lub precyzji działania. Zdolność do działania operatora i możliwość obserwacji skutków tego działania to dwa główne kryteria budowy interfejsu operator-maszyna dla systemów zdalnego sterowania. Zagadnienia wydajności systemów zdalnego sterowania mobilnymi maszynami inżynieryjnymi można podzielić na dwie kategorie: zdalnej percepcji i zdalnej manipulacji. Percepcja operatora w systemach zdalnego sterowania jest niepełna, ponieważ jest on oddalony od środowiska działania maszyny.

Zdalną manipulację, czyli sterowanie osprzętem roboczym można podzielić na kilka grup: włącz/wyłącz; wspólna kontrola; skoordynowana kontrola; nadzór. Sterowanie włącz/wyłącz jest to sterowanie binarne, gdy operator aktywuje przesunięcie jednego lub kilku członów manipulatora lub narzędzia między dwoma określonymi położeniami lub wzdłuż określonej ścieżki ze stałą prędkością. Wspólna kontrola polega na bezpośrednim przemieszczeniu poszczególnych członów manipulatora. Skoordynowana kontrola polega na przemieszczaniu narzędzia po założonej trajektorii. Ten tryb sterowania wymaga rozwiązania odwrotnego zadania kinematyki manipulatora tak, że sterownik oblicza końcowe położenie jego członów i odpowiednią pozycję narzędzia. Jest on szczególnie odpowiedni dla początkujących operatorów. Sprawowanie nadzoru jest krokiem ewolucyjnym pomiędzy konwencjonalną teleoperacją, gdzie operator musi stale kontrolować działanie manipulatora a pełną autonomią. Jednak w zdalnym sterowaniu maszynami inżynieryjnymi, ze względu na charakter występujących zagrożeń i rodzaj środowiska działania, najpowszechniej stosowane jest sterowanie włącz/wyłącz.

Rozwój elementów automatyki i transmisji danych umożliwia budowę układów zdalnego sterowania ze zwiększonym poziomem autonomii, pozostawiając operatorowi zadanie nadzoru nad systemem. Jednakże, system percepcji operatora może ograniczać zwiększanie automatyzacji systemu. Jednym z rozwiązań może być projektowanie interfejsów operator-maszyna, które umożliwiają, optymalnie wykorzystać działanie układu percepcji w celu zwiększenia możliwości rozpoznania otoczenia. Skuteczna realizacja takiego systemu spowoduje wzrost świadomości sytuacyjnej i zmniejszenie obciążenia poznawczego [5].

2. Badania stanowiskowe zdalnego sterowania osprzętem roboczym

Badania zdalnego sterowania osprzętem roboczym przeprowadzono dla dwóch przypadków: przy bezpośredniej widoczności podejmowanych elementów z wykorzystaniem pulpitu zdalnego sterowania (rys.1), jak również w układzie teleoperacji (rys. 2). Według definicji teleoperacji przedstawionej w pracy, każdy obiekt, który odbiera i wykonuje polecenia operatora jest sterowany w systemie teleoperacji. Definicja ta kwalifikuje do tego rodzaju sterowania wszystkie obiekty zdalnie sterowane. Autorzy artykułu przyjęli definicję teleoperacji podaną w pracy

mówiącą, że: obiekt kierowany w systemie teleoperacji powinien posiadać dodatkowe układy, które odróżniają go od zdalnie sterowanego, (czyli sterowanego w zasięgu wzroku operatora), a mianowicie:

- układ nawigacyjny, zapewniający przemieszczanie się w nieznanym lub zdewastowanym środowisku;
- układ sterowania osprzętem roboczym, napędem i jazdą. W wielu przypadkach wykonanie zadania jest bezpośrednio skorelowane z precyzją ruchów roboczych i jazdą;
- układ obserwacji otoczenia umożliwiający prawidłową ocenę danych o otoczeniu.

Wszystkie elementy wchodzące w skład pulpitu (2 – rys. 1) pracują w oparciu o magistralę CAN, co zapewnia ciągłą kontrolę nad stanem poszczególnych komponentów i precyzję działania. Dodatkowo możliwe jest podłączenie do pulpitu dwóch sygnałów wideo. Przesyłane są one z kamer na pulpit operatora w czasie rzeczywistym. Umożliwia to obserwację z niewielkiej odległości podejmowanego ładunku w celu zwiększenia precyzji realizowanych zadań [1].

Rys. 1 Stanowiska badawcze do testowania kinematyki osprzętów roboczych:
1 – rozdzielacz hydrauliczny z elektronicznymi modułami CAN-bus,
2 – pulpit zdalnego sterowania, 3 – agregat hydrauliczny,
4 – osprzęt roboczy

Do badań oceny efektywności sterowania osprzętem roboczym oprócz stanowiska zdalnego sterowania wykorzystano, stanowisko zdalnego sterowania w układzie teleoperacji. Składa się ono z dwóch części zainstalowanych w odrębnych pomieszczeniach: stanowiska operatorskiego oraz osprzętu roboczego Robota Wsparcia Inżynieryjnego. Osprzęt roboczy, wyposażony jest w specjalnej konstrukcji chwytak umożliwiający precyzyjne podejmowanie ładunków. Kamery zainstalowane wokół osprzętu zapewniają panoramiczny widok otoczenia, a kamera zamontowana w chwytaku obserwację podejmowanych obiektów. Obraz z kamer wyświetlany jest na monitorach zainstalowanych na stanowisku operatora rys.3.

Rys. 2 Schemat stanowiska badawczego wraz ze stanowiskiem operatora:
1- manipulator, 2 – układ wizyjny manipulatora, 3 – układ hydrauliczny manipulatora, 4 – układ sterujący, 5 – stanowisko operatora

Rys. 3 Obraz otoczenia widoczny na monitorach stanowiska sterowania

Badając właściwości manipulacyjne i efektywność działania układu sterowania, podejmowano przedmioty o różnej wielkości i masie, począwszy od prętów stalowych o średnicy od kilkunastu do kilkudziesięciu milimetrów i masie od kilku do kilkunastu kilogramów (rys. 4a), poprzez ładunki wielkości pocisków artyleryjskich, do przedmiotów o masie i wielkości bomb lotniczych, czy typowych beczek o pojemności 200 dm^3 , (rys. 4b).

Podnoszone i przemieszczane elementy układano na stalowej płycie podłoża w różnych odległościach od podstawy manipulatorów, w polu ich pracy w taki sposób, aby ich podniesienie wymagało także użycia obrotu osprzętu roboczego. Zadanie polegało na przemieszczeniu manipulatora z położenia transportowego do ładunku, podniesieniu ładunku chwytakiem i przemieszczenie w położenie transportowe, przy różnych położeniach transportowych osprzętu [2].

Przeprowadzone badania sterowania osprzętem roboczym wykazały, że precyzyjniej i efektywniej operator steruje osprzętem roboczym przy użyciu joysticków aniżeli przycisków włącz/wyłącz, zarówno wciskanych jak i uchylnych. Dlatego rozbudowano stanowisko sterowania o dwa joysticki umożliwiające sterowanie wszystkimi ruchami roboczymi sterowanego osprzętu roboczego (rys. 5).

Rys. 4 Badania funkcjonalności i efektywności stacjonarnego stanowiska sterowania: a – podejmowanie pręta stalowego; b – podejmowanie beczki

Rys. 5 Stanowisko operatora wyposażone w dodatkowe joysticki J1 i J2

3. Opracowanie przenośnego pulpitu zdalnego sterowania

Specyfika wykonywanych zadań przez mobilne maszyny inżynieryjne wymaga by operator był oddalony od maszyny, ale często warunki nie pozwalają na pracę w pozycji siedzącej lub brak jest możliwości ustawienia stanowiska operatorskiego. Dlatego zaistniała konieczność opracowania przenośnego pulpitu zdalnego sterowania. Poszukując optymalnego rozwiązania jego konstrukcji, testowano elementy sterujące i rozwiązania pulpitu zdalnego sterowania z uwzględnieniem rozdziału funkcji sterujących. W wyniku przeprowadzonych analiz i testów, zarówno na stanowisku badawczym jak i na obiekcie rzeczywistym, opracowano autorskie rozwiązanie pulpitu zdalnego sterowania maszyną inżynieryjną. Zapewnia on realizację wszystkich funkcji roboczych sterowanych maszyn, przy jednocześnie minimalnym obciążeniu operatora, co jest bardzo istotne z punktu widzenia precyzji realizowanych zadań. Składa się z 2 joysticków oraz programowalnego wyświetlacza (rys. 6), pracujących w oparciu o magistralę CAN.

Rys. 6 Widok pulpitu zdalnego sterowania maszynami inżynieryjnymi

Programowalność pulpitu umożliwia łatwe tworzenie indywidualnego, czytelnego interfejsu użytkownika, który pozwala intuicyjnie sterować wybraną maszyną. Ciekłokrystaliczny, kolorowy wyświetlacz pozwala umieszczać na ekranie symbole graficzne realizowanych funkcji i wartości parametrów roboczych maszyny. Przekroczenie wartości dopuszczalnych wielkości istotnych z punktu widzenia poprawności działania zarówno układu napędowego jak i układu sterowania, sygnalizowane są na pulpicie odpowiednimi symbolami graficznymi i sygnałem dźwiękowym, przy jednoczesnym uruchomieniu procedur awaryjnych. Z poziomu pulpitu możliwe jest sterowanie następującymi funkcjami maszyn: prędkością i kierunkiem jazdy, osprzętami roboczymi, zawieszeniem, kamerami pokładowymi, zdalnym uruchomieniem i zatrzymaniem. Włączanie poszczególnych funkcji odbywa się z menu głównego pulpitu (rys. 7).

Rys. 7 Przyporządkowanie komend sterujących dla elementów pulpitu zdalnego sterowania: 1 – sterowanie osprzętem roboczym; 2 – wybór rodzaju sterowania układem napędowym i skrętu maszyny; 3 – sterowanie prędkością obrotową silnika napędowego; 4 – sterowanie aktywnym sprzęgiem hydraulicznym maszyn dwuczłonowych; 5 – prędkość obrotowa kół maszyny

Sterowanie kamerami systemu wizyjnego odbywa się z wykorzystaniem menu kamer (rys. 8). Operator może sterować położeniem oraz ogniskową trzech głowic obrotowych zamontowanych na maszynie.

Rys. 8 Widok menu sterowania kamerami systemu wizyjnego

Komendy sterujące głowicami kamer wysyłane są do podsieci znajdującej się na pojeździe, do sterowników głowic pracujących w systemie CAN. Interpretują one informacje z magistrali, rozpoznają adresata i przesyłają informację sterującą do odpowiedniej głowicy. Każda głowica sterowana jest z wykorzystaniem indywidualnego sterownika.

Komendy z pulpitu zdalnego sterowania przekazywane są łączem radiowym w standardzie CAN do sterownika na maszynie, gdzie są odpowiednio

interpretowane, przetwarzane i kierowane do magistrali pokładowej, jako sygnały sterujące elementami wykonawczymi maszyny.

W kolejnym etapie przeprowadzono badania poligonowe możliwości roboczych manipulatora w aspekcie stateczności pojazdu. W ramach tych badań podejmowano i przemieszczano ładunek o masie ok. 200 kg dla różnych konfiguracji osprzętu i położeń robota względem podnoszonego ładunku (rys.9).

Rys. 9 Badania poligonowe możliwości roboczych manipulatora w aspekcie stateczności pojazdu: a - podnoszenie ładunku z zagłębienia w terenie (rowu melioracyjnego), b - podnoszenie ładunku i przemieszczanie z wykorzystaniem obrotu osprzętu

4. Opratorskie stanowisko zdalnego sterowania bezzałogową maszyną inżynierską

Opracowany przenośny pulpit zdalnego sterowania umożliwiał sterowanie maszyną inżynierską i jej osprzętem roboczym w krótkim okresie czasu (do ok. 1 godz.). Dłuższe sterowanie pracą maszyny wymagało opracowania stanowiska zapewniającego operatorowi efektywną pracę przez kilka godzin. Dodatkowym utrudnieniem była konieczność sterowania rozbudowanym układem jezdnym i skrętem maszyn wielocłonowych, z jednoczesnym sterowaniem osprzętem roboczym. Zadanie to było istotne dla zapewnienia sterowania Inżynierskim Robotem Wsparcia Taktycznego (IRWT) „Boguś”. IRWT wyposażony jest w sterowany sprzęg hydrauliczny, manipulator oraz osprzęt samo załadowniczy (rys.10) [4]. Budowę stanowiska operatorskiego poprzedziła analiza wymagań oraz dostępnych rozwiązań z dziedziny sterowania w zastosowaniach mobilnych, oraz wnioski z realizacji wcześniejszych badań [4]. Wykazały one, że dla poprawnego sterowania bezzałogową dwuczłonową maszyną operator powinien otrzymywać informacje z czterech podstawowych układów maszyny: napędowego, sprzęgu hydraulicznego, nadzoru osprzętów roboczych, pomiaru przemieszczania się maszyny.

Rys. 10 Inżynieryjny Robot Wsparcia Taktycznego (IRWT) „Boguś”

Na podstawie analiz teoretycznych i badań symulacyjnych opracowano i wykonano pulpit operatora zdalnego sterowania. Wyposażony jest on w cztery joysticki połączone do wewnętrznego sterownika pulpitu, pełniącego jednocześnie funkcje wyświetlacza (rys. 11) [3].

a)

b)

Rys. 11 Stanowisko operatorskie: a - projekt graficzny;
b- zmontowane stanowisko operatorskie

Rozmieszczenie elementów interfejsu zostały wykonane zgodnie z zasadami ergonomii i normami dotyczącymi środowiska pracy operatorów sprzętu inżynieryjnego. Dzięki temu uzyskano intuicyjność w sterowaniu maszynami.

Do sterowania maszyną i osprzętem do załadunku i rozładunku wykorzystywane są joysticki grupy jazdy pulpitu operatora (rys. 12). Joystick lewy wychylany do przodu/do tyłu odpowiedzialny jest za sterowanie prędkością i kierunkiem jazdy maszyny, podczas gdy joystick prawy wychylany w lewą/ w prawą stronę powoduje skręt kół, oraz skręt sprzęgu hydraulicznego. Sterowanie sprzęgiem hydraulicznym realizowane jest z wykorzystaniem tych samych joysticków i w połączeniu z ich przyciskami funkcyjnymi.

Rys. 12 Rozmieszczenie grup joysticków odpowiedzialnych za realizowanie wytypowanych funkcji podczas sterowania IRWT

Taka forma sterowania zarówno maszyną jak i osprzętem widłowym została zaproponowana ze względu na potrzebę korygowania kierunku podejścia i ustawienia osprzętu podczas podejmowania ładunków spaletyzowanych.

Pozostałe ruchy omawianych joysticków odpowiedzialne są za sterowanie osprzętem widłowym. Aby zrobić wypad lub schować widły należy wychylić joystick prawy do przodu lub do tyłu. W celu regulacji kąta nachylenia wideł, należy wychylić joystick lewy w prawo lub w lewo.

W celu sterowania manipulatorem o sześciu stopniach swobody (rys. 13) należy wykorzystywać joysticki grupy manipulacji.

Dla odwzorowania środowiska pracy maszyny, wykorzystano trzy monitory o regulowanym położeniu wzdłużnym, dzięki czemu możliwe jest otrzymanie obrazu panoramicznego, który tworzy efekt „otaczania” operatora. W połączeniu ze specjalnie zaprojektowaną głowicą wizyjną zapewnia to dobrą widoczność podczas pracy przy małych zniekształceniach obrazu, co poprawia efektywność pracy operatora i zmniejsza jego zmęczenie podczas długotrwałej pracy.

Do wizualizacji informacji, przesyłanych z wewnętrznego systemu sterowania maszyny, wykorzystano kolorowy wyświetlacz z zainstalowanym sterownikiem. Został on umiejscowiony centralnie przed operatorem, poniżej monitorów. Dzięki temu operator nie musi wykonywać długich i męczących ruchów głową, aby odczytać niezbędne informacje. Dodatkowo sterownik wyświetlacza pełni funkcję podstawowej jednostki logicznej dla przetwarzania danych przesyłanych po magistrali CAN na stanowisku operatora i realizuje komunikację z maszyną [3].

Rys. 13 Manipulator z zaznaczonymi grupami ruchów roboczych: 1 - obrót manipulatora; 2 – pochylenie wysięgnika; 3 - pochylenie ramienia; 4 - obrót chwytaka; 5 - pochylenie chwytaka; 6 - otwarcie szczęk

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania na stanowisku zdalnego sterowania (rys. 3), którego elementy adaptowano z eksploatowanego systemu nie zapewniło efektywnego sterowania maszyną inżynierską, pomimo zastosowania zasad ergonomii przy jego projektowaniu. Opracowanie nowatorskiego stanowiska kierowania, o rozbudowanej liczbie elementów manipulacyjnych (rys. 12) zapewniło precyzyjne sterowanie maszyną o rozbudowanej strukturze kinematycznej wyposażoną w osprzęty robocze o wielu stopniach swobody (rys. 10).

Przenośny pulpit zdalnego sterowania (rys. 6) dedykowany jest głównie do krótkotrwałego sterowania maszynami inżynierskimi. Stanowi on podstawę prowadzenia prac związanych z miniaturyzacją interfejsu operatora i do testowania opracowywanych procedur sterujących. Bardzo istotnym zadaniem badawczym jest integracja części sprzętowej interfejsu z procedurami sterującymi w celu zwiększenia intuicyjności systemów sterujących.

Obserwacja osprzętów roboczych i otoczenia maszyny jest drugim obok manipulacji warunkiem zapewniającym poprawne działanie systemu zdalnego sterowania. W ramach pracy testowane różne rozwiązania prezentacji obrazu z kamer i informacji o parametrach maszyny. Przeprowadzone badania wykazały, że najkorzystniejszym rozwiązaniem jest stosowanie trzech monitorów do wyświetlania obrazów z kamer z dodatkowym wyświetlaczem wizualizującym dane z maszyny (rys. 11). Istotnym zagadnieniem okazał się dobór wielkości i rozmieszczenia monitorów. Zbyt duże monitory wymagają od operatora ruchów głową w celu oglądania obrazu z innej kamery. W sytuacjach wymagających skupienia korzystniejszym rozwiązaniem było rozmieszczenie wszystkich obrazów na jednym monitorze.

Korzystnym rozwiązaniem jest umieszczenie wyświetlacza bezpośrednio pod centralnym monitorem (rys. 11b). Umożliwia to operatorowi kontrolę stanu maszyny bez wykonywania ruchów głową, a tylko gałkami ocznymi.

Przedstawione rozwiązania badawczych układów komunikacji operator – maszyna stanowią podstawę do prowadzenia dalszych prac zarówno eksperymentalnych jak i koncepcyjnych. W przeprowadzonych rozważaniach wskazano na główne problemy, warunkujące realizację efektywnego układu zdalnego sterowania tj. opracowanie systemów manipulacji i wizualizacji, które umożliwią sterowanie pracą maszyny w czasie rzeczywistym przez przeciętnie wykształconego operatora.

5. Literatura

- [1] Bartnicki A., Łopatka M.J., Typiak A.: Problemy teleoperacji w sterowaniu bezzałogowymi platformami lądowymi, „Technologie podwójnego zastosowania”, WAT, Warszawa 2012.
- [2] Bartnicki A.: Operating parameters of the robot manipulator of engineering support, Polish Journal of Environmental Studies, vol. 20, No. 5A 2011.
- [3] Konopka S., Typiak R.: Dobór systemu wizyjnego dla bezzałogowej szybkobieżnej maszyny inżynieryjnej, Transport przemysłowy i maszyny robocze 2(12)/2011
- [4] Typiak A. i inni: Sprawozdanie z realizacji projektu rozwojowego pn.: “Bezzałogowy pojazd do wykonywania zadań specjalnych w strefach zagrożenia”. Warszawa WAT 2011.
- [5] Sprawozdanie z PBR 15-454/2008/WAT, Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Inżynieryjny robot wsparcia misji EOD/IED – usuwania ładunków niebezpiecznych, WAT, Warszawa 2011.

***Pplk dr inż. Adam Bartnicki** jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym Wojskowej Akademii Technicznej. Głównym obszarem jego zainteresowań są zagadnienia związane z hydrotronicznymi układami napędowymi maszyn i pojazdów. W swojej pracy zawodowej zajmuje się problematyką kształtowania układów napędowych i systemów sterowania nimi dla załogowych i bezzałogowych maszyn roboczych z wykorzystaniem magistrali CAN.*

***Dr inż. Andrzej Typiak** jest pracownikiem naukowym Wojskowej Akademii Technicznej. Głównym obszarem jego zainteresowań są zagadnienia związane z rozwojem systemów sterowania mobilnych maszyn inżynieryjnych. Zajmuje się analizą wybranych aspektów zdalnego sterowania jazdą, osprzętami roboczymi oraz percepcji otoczenia do budowy systemów zdalnego sterowania maszynami w układzie teleoperacji.*

***Mgr. inż. Rafał Typiak** jest pracownikiem Wydziału Mechanicznego Wojskowej Akademii Technicznej. Zajmuje się problematyką kształtowania systemów sterowania dla załogowych i bezzałogowych maszyn roboczych oraz opracowywaniem systemów wizyjnych dla zdalnie sterowanych pojazdów bezzałogowych. Opracowuje systemy pokładowe, oprogramowanie stanowisk sterowania, interfejsy HMI oraz protokoły transmisji bezprzewodowej.*