

# Projekt dwuramiennego robota sterowanego przez teleoperatora z wykorzystaniem technik rzeczywistości wirtualnej

Andrzej Grabowski


## Wprowadzenie

Badania naukowe dotyczące nowych rozwiązań technicznych, wykorzystujące techniki rzeczywistości wirtualnej do teleoperacji, były prowadzone głównie na potrzeby astronautyki oraz do zastosowań militarnych (np. do zdalnego operowania bezzałogowymi pojazdami) (Kristoffersson, 2013). Malejący koszt urządzeń wykorzystywanych w technicach rzeczywistości wirtualnej (takich jak gogle rzeczywistości wirtualnej typu HMD – *Head Mounted Display*) sprawia, że opłacalne staje się ich wykorzystanie do nowych zastosowań. Jedną z takich dziedzin, intensywnie rozwijaną w ostatnich latach, jest teleoperacja, czyli zdalne sterowanie urządzeniami mającymi na celu odsunięcie pracownika (operatora) od strefy niebezpiecznej. Wykorzystanie teleoperacji umożliwia uniknięcie problemów związanych z narażeniem człowieka (operatora) na warunki niebezpieczne. Ma to szczególne znaczenie w zastosowaniach militarnych (np. do zdalnej kontroli pojazdów) (Valois, 2008), astronautyce (np. do przeprowadzania zdalnych napraw i prac konserwatorskich na orbicie) (Chintamani, 2008), w górnictwie (Hainsworth, 2001), jak również w przypadku prac podwodnych (Lin, 1997). Zdalnie sterowane roboty mobilne zastępują człowieka w sytuacjach zagrożenia życia lub zdrowia, czego dobrym przykładem może być antyterrorystyczny robot inspekcyjno-interwencyjny „Inspektor” produkowany w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów (PIAP). Dynamicznie rozwijającą się w ostatnich latach dziedziną wykorzystania teleoperacji są zastosowania medyczne. Zdalne sterowanie ramieniem robota może być niezmiernie przydatne, gdy istnieje

**Streszczenie:** Zastosowanie koncepcji teleobecności umożliwia odsunięcie, na dowolną odległość, osoby realizującej pracę od miejsca wykonywania pracy. Pozwala to na realizację pracy w strefie zagrożenia lub strefie niebezpiecznej bez narażenia życia lub zdrowia człowieka w związku z ekspozycją związaną np. z wysokimi stężeniami szkodliwych substancji chemicznych. Ponadto separacja podejmującego decyzję człowieka od wykonującego pracę efek-

tora niezależnie zakres realizowanych przez robota prac od możliwości fizycznych człowieka, w szczególności udźwignięcia robota nie jest w żaden sposób limitowany przez możliwości fizyczne osoby sterującej pracą robota. Jest to szczególnie zaletą w przypadku osób starszych i/lub z niepełnosprawnościami.

Słowa kluczowe: roboty mobilne, rzeczywistość wirtualna, teleobecność, zdalne sterowanie

 **Abstrakt:** *The tele-presence enable to separate, at any distance, a worker from workplace. This allows to perform work in a hazardous area without endangering human life or health due to exposure associated with, for example, high concentrations of harmful chemicals. In addition, the separation of the decision-making man from the effector performing the work, makes the scope of the work*

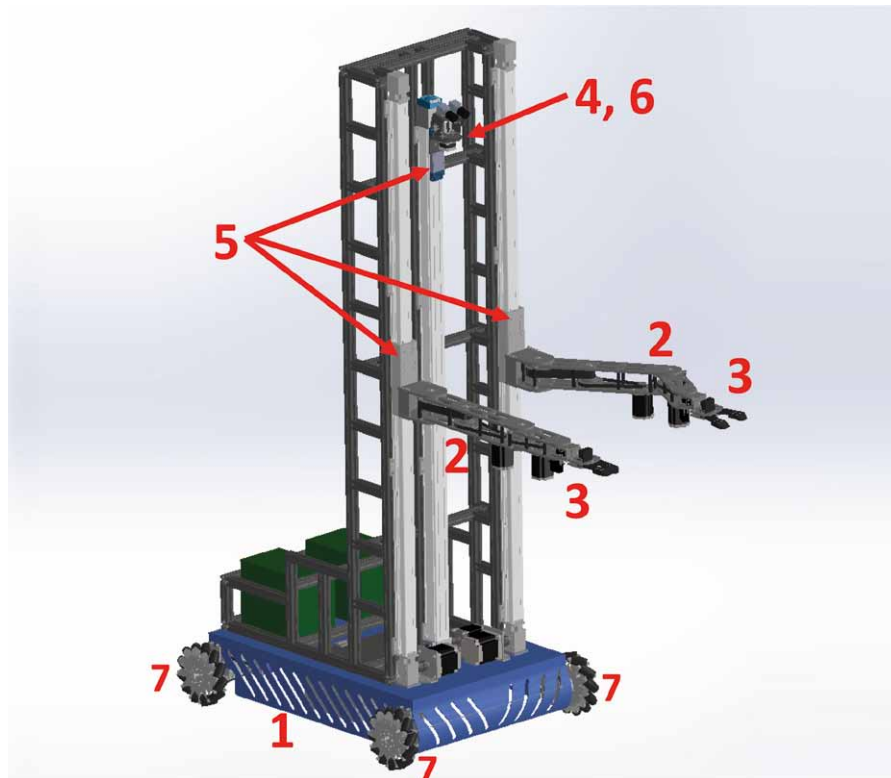
*carried out by the robot independent of the human's physical capabilities, in particular the lifting capacity is in no way limited by the physical capabilities of the person controlling the robot's work. This is a special advantage for older people and/or people with disabilities.*

*Keywords: mobile robots, virtual reality, telepresence, remote control*

potrzeba zwiększenia precyzji zadań manualnych wykonywanych przez człowieka. Przykładem takiego zastosowania są roboty chirurgiczne (np. rozwijana w Polsce rodzina robotów medycznych „RobinHeart”). Wykorzystanie teleoperacji daje również możliwość prowadzenia zabiegów chirurgicznych na odległość, umożliwiając tym samym wykorzystanie wiedzy i umiejętności ekspertów znajdujących się w oddaleniu od miejsca operacji (jak np. w przypadku pierwszego powstałego na świecie takiego systemu działającego w Kanadzie od

2003 r., gdzie miejsce operacji oddalone jest od stanowiska sterowania robotami o 400 km).

Według Sheridana (1989) teleoperacja jest rozszerzeniem możliwości osoby, operatora, poprzez umożliwienie odbierania informacji ze zmysłów i manipulację obiektami z odległej lokalizacji. Nerozerwalnie jest z tym związane pojęcie teleobecności (zwanego inaczej obecnością przestrzenną). Lichiardopol (2007) definiuje teleobecność jako specyficzne uczucie obecności w odległej lokalizacji – w miejscu,



reklama

Rys. 1. Widok izometryczny robota

w którym fizycznie znajdują się urządzenia umożliwiające teleoperacje. Może to być na przykład robot wyposażony w ramiona umożliwiające chwytanie i przenoszenie obiektów (zdalna manipulacja) oraz przekazujący obraz, dźwięk, dotyk, informacje o położeniu ramion. Aby wrażenie teleobecności powstało, konieczne jest dostarczenie operatorowi dostatecznej ilości relevantnych informacji pochodzących z urządzenia i środowiska wokół urządzenia. Informacje te powinny być przy tym przekazane w sposób tak naturalny, jak to tylko możliwe. W przeciwnym wypadku wrażenie fizycznej teleobecności nie występuje (Stassen et al., 1989). Teleobecność w tym przypadku jest zjawiskiem podobnym do wrażenia obecności przestrzennej w środowisku wirtualnym, wytworzonym sztucznie za pomocą aparatury do wirtualnej rzeczywistości (VR). Różnica polega na tym, że w VR fizyczna lokalizacja nie istnieje, jest wielozmysłową iluzją tworzoną przez komputer. Stymulacja wielu zmysłów i łatwość wytworzenia iluzji obecności przestrzennej za pomocą VR sprawia, że stanowi ona świetne narzędzie, mogące

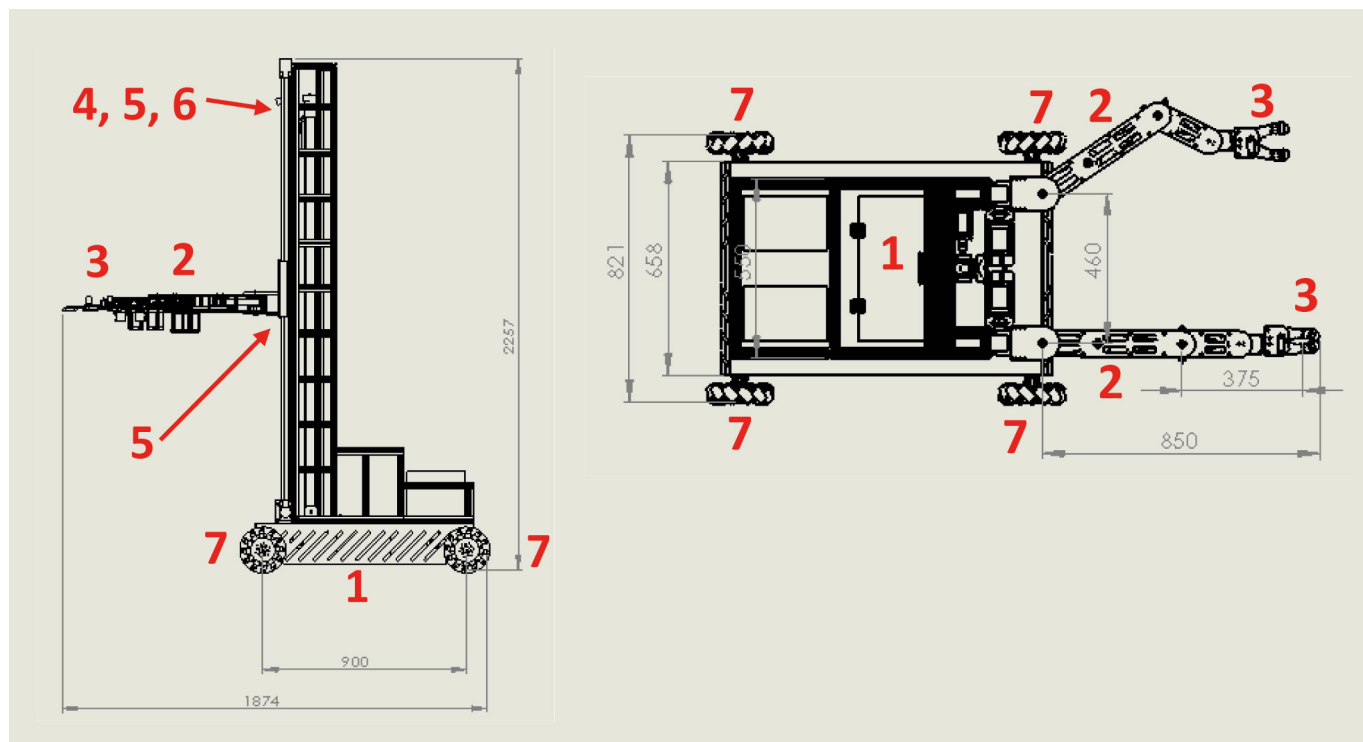
stać się interfejsem do teleoperacji. Jeśli techniczne możliwości systemu VR są w stanie dostarczyć możliwie pełnego, bogatego, wszechogarniającego doświadczenia przebywania w odległej lokalizacji, mamy do czynienia z immersją.

### Projekt robota

W ramach prowadzonych prac przygotowano projekt robota (rys. 1) umożliwiającego jego zdalne sterowanie za pośrednictwem narzędzi typowych dla technik rzeczywistości wirtualnej i wyposażonego w:

- kołową platformę mobilną (1);
- dwa ramiona o zasięgu odpowiadającym zasięgowi 50-centylowego człowieka. Planuje się zbudowanie ramion robota w oparciu o dostępne na rynku podstawowe komponenty, takie jak silniki i przekładnie. Ważną cechą jest również możliwość zasilania ramion robota z baterii oraz dostęp do sterowania ruchem ramion robota w czasie rzeczywistym (2);
- chwytak na każdym z ramion (3);
- ruchomą głowicę o dwóch stopniach swobody z zamocowaną kamerą stereo (4);

reklama



Rys. 2. Główne wymiary zaprojektowanego robota: z lewej widok boczny, z prawej widok z góry

- układ do zmiany wysokości zaczepu ramion i kamery stereo (5);
- układ do bezprzewodowej transmisji obrazu z kamery (6).

Robot ma jak najlepiej odtwarzać ruch kończyn górnych 50-centylowego mężczyzny z Europy Centralnej, dla którego zasięg ramion wraz z palcami wynosi 850 mm, szerokość barkowa to 460 mm, natomiast odległość łokieć – punkt chwytający równa jest 375 mm. W tym celu powstaną dwa niezależnie działające ramiona z możliwością obrotu w osi pionowej przegubów odpowiadających stawowi barkowemu oraz łokciowemu. Na końcu obu ramion zostanie zamontowana część chwytająca o dwóch stopniach swobody. Platforma mobilna przeznaczona jest do przenoszenia zarówno małych, lekkich przedmiotów, które zmieszczą się w szczękach chwytaka, jak i dużych, ciężkich przedmiotów, do przemieszczania których wymagany jest udział dwóch ramion. Maksymalny

udźwig ramion to 10 kg. Ponadto zamontowany zostanie moduł kamery stereoskopowej (o dwóch obiektywach) posiadającej dwa stopnie swobody ruchu, która pozwoli na obserwację otoczenia. Zarówno ramiona, jak i kamera stereo zostaną umieszczone na osobnych modułach liniowych, które pozwolą zapewnić ruch od 40 do 200 cm nad podłożem, po którym porusza się robot.

Model składa się z platformy jezdnej, złożonej z części napędowej, ramy nośnej oraz miejsca przeznaczonych na akumulatory, sterowniki silników i komputer pokładowy; ramy wspornikowej dla modułów liniowych; modułów liniowych przeznaczonych do ruchu ramion; modułu liniowego dla modułu kamery; konstrukcji odpowiadających kończynom górnym człowieka, podzielonych na część ramienną, przedramienną oraz chwytającą. Robot posiada wymiary wyszczególnione na rys. 2, posiada masę własną około 115 kg oraz masę

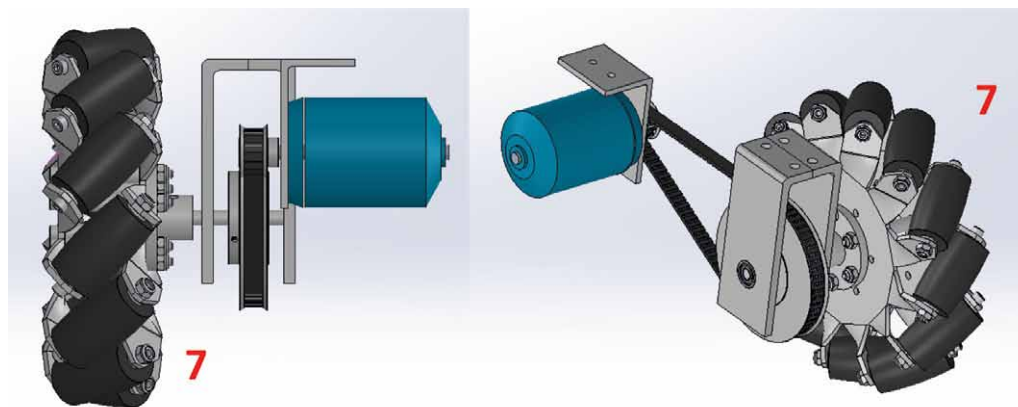
całkowitą (z akumulatorami żelowymi) około 160 kg.

Istotne z punktu widzenia stateczności pojazdu jest położenie jego środka ciężkości. Z tego też powodu dla obliczeń umieszczono w modelu robota reprezentatywny obiekt o wadze około 10 kg i określono koordynaty środka ciężkości całego układu wraz z akumulatorami żelowymi. Najgorszym przypadkiem, mogącym wyprowadzić powyższy układ z równowagi, jest sytuacja, gdy robot przemieszczający się z przedmiotem znacznie gwałtownie hamować. Położenie środka ciężkości ponad 26,8 cm za osią obrotu (oś przednich kół) pozwoli zapobiec niekontrolowanemu obrotowi całej konstrukcji. Położenie środka ciężkości może oczywiście się zmieniać w zależności od położenia ramion na kierunku pionowym (Z), jednakże wartość przesunięcia w osi poziomej środka ciężkości pozostanie dodatnia, co pozwoli zachować stateczność konstrukcji.

Jako koła jezdne zastosowano koła typu Mecanum 8" (7), które w układzie czterech łącznie umożliwiają ruch w postaci translacji w obu kierunkach, a także obrotu w osi pionowej. Każde koło Mecanum 8" (7) charakteryzuje się maksymalnym obciążeniem 81 kg

reklama





Rys. 3. Reprezentacja mechanizmu napędowego zastosowanego w robocie: widok od przodu robota (z lewej), widok izometryczny (z prawej)

oraz masą własną 1,125 kg. Niezależne sterowanie każdym z kół (rys. 3) pozwala na ruch robota nie tylko do przodu, ale również na boki.

### Podsumowanie

Teleoperacja, czyli zdalne sterowanie maszyną, jest dziedziną, która jest intensywnie rozwijana w ostatnich latach. Wykorzystanie teleoperacji umożliwi uniknięcie kosztów związanych z narażeniem człowieka (operatora) na warunki niebezpieczne. Ma to szczególne znaczenie w zastosowaniach militarnych (np. do zdalnej kontroli pojazdami), w astronautyce (np. do przeprowadzania zdalnych napraw i prac konserwatorskich na orbicie), w górnictwie, jak również w przypadku prac podwodnych. Zdalnie sterowane roboty mobilne zastępują człowieka w sytuacjach zagrożenia życia lub zdrowia. Technologia ta wykorzystywana może być również m.in. w przypadku urządzeń transportowych, takich jak: dźwignice, suwnice przemysłowe, suwnice portowe, żurawie budowlane. Innym zastosowaniem są roboty inspekcyjne oraz roboty do zdalnych prac serwisowych, wykorzystywane w strefach niebezpiecznych, np. groźących poparzeniem lub wybuchem przy obsłudze pieca hutniczego.

Zaproponowane rozwiązanie jest ważną alternatywą dla robotów noszonych (egzoszkieletów) przeznaczonych do wspomagania w wykonywaniu prac fizycznych. Zastosowanie koncepcji teleobecności do sterowania dwuramiennym robotem charakteryzuje się istotnymi zaletami w stosunku do robota noszonego typu egzoszkielet:

- bezpieczeństwo: operator nie jest zagrożony nieprawidłowym działaniem robota, możliwością przewrócenia się robota czy też

obecnością czynników szkodliwych w miejscu pracy robota;

- ergonomia: operator nie jest ograniczony przez egzoszkielet, ponadto w każdej chwili może zrobić przerwę w pracy bez konieczności czasochłonnego procesu wychodzenia i ponownego wchodzenia do egzoszkieletu;
- możliwość kontroli wielu robotów mobilnych, przełączanie się operatora pomiędzy różnymi robotami (daje to możliwość kontynuowania pracy za pośrednictwem drugiego robota);
- koszt budowy zdalnie sterowanego robota powinien być wielokrotnie niższy (nawet o kilka rzędów wielkości) od robota typu egzoszkielet,
- robot mobilny może być znacznie mniejszy (nie zawiera dużych elementów egzoszkieletu montowanych na operatorze), więc powinien lepiej przemieszczać się w pomieszczeniach przewidzianych dla ludzi;
- energooszczędność i wydajność, dłuższy czas pracy bez konieczności ładowania baterii: robot mobilny nie musi dźwigać ciała operatora;
- możliwość łatwego dostosowania do terenu, w którym powinien poruszać się robot, poprzez zastosowanie różnych platform mobilnych: kołowej, gąsienicowej, dwunożnej, wielonożnej (np. typu *hexapod*).

Przykładem praktycznego zastosowania robotów dwuramiennych są roboty współpracujące (*collaborative robots*) z człowiekiem, wspomagające go przy wykonywaniu stosunkowo prostych czynności manualnych. Jednakże pomimo tego, że wiele robotów współpracujących też jest wyposażonych w dwa ramiona, zakres zastosowania proponowanego rozwiązania jest zupełnie inny. W przeciwieństwie do planowanego do przygotowania urządzenia, większość robotów współpracujących



(takich jak: ABB Yumi, Kawada Nextage, Rethink Robotics Baxter lub Yaskawa Motoman) jest stacjonarna i charakteryzuje się stosunkowo małym udźwigniem (np. w przypadku robota Yumi początkowa wartość 0,5 kg – przy osi robota – maleje do 0,3 kg już po odsunięciu końcówki robota od jego osi o około 8 cm), co w dniu dzisiejszym znacząco ogranicza jego zastosowanie do przenoszenia (lub np. podawania człowiekowi) stosunkowo małych i lekkich przedmiotów. Ponadto roboty współpracujące nie mogą zastąpić człowieka w pracy w strefie niebezpiecznej, co jest celem wykorzystania zdalnie sterowanego mobilnego robota. Nie są one przystosowane do teleoperacji. Nie bez znaczenia jest również wysoka cena tego typu urządzeń, znacząco przewyższająca cenę komponentów niezbędnych do zbudowania ramion robota.

Zakłada się, że planowany do zbudowania robot będzie stosowany przede wszystkim w pracach fizycznych związanych z przenoszeniem i/lub układaniem obiektów, czyli np. robotnicy wykonujący prace proste w transporcie i proste prace magazynowe, których obejmuje kategoria 933 „Robotnicy pomocniczy transportu i prac magazynowych” wymieniona w Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 7 sierpnia 2014 r. w sprawie klasyfikacji zawodów i specjalności na potrzeby rynku pracy oraz zakresu jej stosowania.

Publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu wieloletniego programu „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017–2019 w zakresie prac naukowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.


Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

### Literatura

- [1] KRISTOFFERSSON, CORADESCHI, LOUTFI: *A Review of Mobile Robotic Telepresence*. Advances in Human-Computer Interaction, Volume 2013, 902316, 17 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/902316>, 2013.
- [2] VALOIS, HERMAN, BARES, RICE: *Remote operation of the Black Knight unmanned ground combat vehicle*. Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering 6962, art. no. 69621A 2008.
- [3] CHINTAMANI, OVERGAARD, TAN, ELLIS, PANDYA: *Physically-based augmented reality for remote robot teleoperation: Applications in training and simulation*. IIE Annual Conference and Expo 2008, pp. 977–982 2008.
- [4] LIN, QINGPING, KUO, CHENGI: *Virtual tele-operation of underwater robots*. 1997 Proceedings – IEEE International Conference on Robotics and Automation 2, pp. 1022–1027, 1997.

- [5] HAINSWORTH: *Teleoperation User Interfaces for Mining Robotics*. Autonomous Robots 11, 19–28, 2001.
- [6] SHERIDAN T.B.: *Telerobotics*. Automatica, Vol 25, no 4, pp. 1–20, 1989.
- [7] LICHIARDOPOL S.: *A Survey on Teleoperation*. DCT report. Technische Universiteit Eindhoven. Department Mechanical Engineering. Dynamics and Control Group. Eindhoven, December, 2007.
- [8] STASSEN H.G., SMETS G.J.F.: *Telemanipulation and telepresence*. Control Engineering Practice, Vol 5, no 3, pp. 364–375, 1997.

Dr hab. inż. Andrzej Grabowski, profesor CIOP-PIB – w swojej pracy prowadzi badania dotyczące wykorzystania rzeczywistości wirtualnej w różnych dziedzinach m.in.: szkoleń, funkcjonowania poznawczego, teleobecności i teleoperacji oraz wspomaganie rehabilitacji. Równolegle prowadzone są prace nad rozwojem technik VR, w laboratorium opracowywane są np. symulatory pojazdów, bezprzewodowe gogle VR typu HMD, bezprzewodowe rękawice VR z siłowym sprzężeniem zwrotnym i wizyjne systemy pomiarowe typu motion capture.

 dr hab. inż. Andrzej Grabowski, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

artykuł recenzowany