

Wyniki wstępnych badań chwytaka wielopalczastego z podatnością do inteligentnej manipulacji z czuciem

Krzysztof Mianowski

Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej, Politechnika Warszawska

Streszczenie: Praca dotyczy badania charakterystyk nowego rozwiązania chwytaka wielopalczastego własnej konstrukcji z podatnymi palcami o specjalnej konstrukcji. Główne założenia projektu dotyczyły możliwości manipulacji np. delikatnymi obiektami o skomplikowanych kształtach, ale też innymi dowolnymi, będącymi „pod ręką”. Niezależnie od tego założono, że chwytak ma zapewnić odpowiedni poziom pewności działania, funkcjonalności i łatwości obsługi. Konstrukcja chwytaka zapewnia korzystną zmienność charakterystyk sił wywieranych na obiekt zależnie od wartości wielkości rozwarcia palców chwytaka, tj. zależnie od wymiarów obiektu manipulowanego.

Słowa kluczowe: chwytak wielopalczasty, inteligentna manipulacja, chwytanie maszynowe

1. Wprowadzenie

Zadaniem projektu było opracowanie nowego rozwiązania chwytaka do tzw. inteligentnej manipulacji z czuciem. Uwzględniając aktualny stan układów napędowych, sterujących i sensorycznych dostępnych na rynku oraz stan bazy laboratoryjnej, zdecydowano, że możliwym jest skonstruowanie w Laboratorium Robotyki Instytutu Automatyki na Wydziale Elektroniki Politechniki Warszawskiej chwytaka dla robotów, w którego zastosowaniu można będzie wykorzystać nową zasadę sterowania polegającą na analizie informacji sensorycznej z chwytaka, robota i jego otoczenia w celu wypracowania najlepszej możliwej strategii chwytu dla manipulacji np. delikatnymi obiektami o skomplikowanych kształtach, ale też innymi dowolnymi, będącymi „pod ręką”. Opracowując nowe rozwiązanie konstrukcyjne chwytaka sformułowano założenia co do klas kształtu chwytanych obiektów, ich wielkości, masy, twardości i podatności powierzchni zewnętrznej, wytrzymałości (odporności na zgniecenie siłami niezbędnymi do uchwycenia), stanu powierzchni, możliwości chwytania w określony sposób itp. Następnie zgodnie ze sformułowaniem założeniami dokładnie przeanalizowano problem od strony technicznej, tzn. możliwości rozwiązania układu kinematycznego, napędu, ułożenia niezbędnych czujników i sensorów, doprowadzenia energii i sterowania w sposób jak najbardziej zintegrowany i kompaktowy, tak aby zapewnić wysokie parametry funkcjonalne chwytaka. Dodatkowym czynnikiem, który uwzględniono, była chęć stworzenia rozwiązania, z użyciem którego pewne zadania chwytania obiektów robot z chwytakiem mógłby rozwiązywać w sposób „maszynowo intuicyjny”, tzn. na podstawie bardzo ogólnie sformułowanych założeń działania, podczas gdy sam proces chwytania

byłby wynikiem „rozmytego” uwzględnienia wielu czynników o różnym charakterze. Dotyczy to takich obiektów, jak plastikowa, miękka butelka wypełniona płynem o zmiennej zawartości, sztywne kostki, piłka do tenisa lub piłka do ping-ponga, jajko itp. Wobec tego w rozwiązaniu konstrukcyjnym, jak też i w sterowaniu uwzględniono wpływ pewnych czynników niezdeterminowanych, którymi robot z chwytakiem będzie musiał efektywnie manipulować. Założono również, że możliwe będzie uczenie się robota z chwytakiem różnych wersji chwytu przez wykorzystanie informacji z czujników siły, położenia, obrazu z kamery itp. w trakcie realizacji zadania. Wymaga to zapewnienia układowi odpowiednio wysokiego poziomu właściwości adaptacyjnych oraz zastosowania szerokiego asortymentu układów sensorycznych w celu zbierania informacji o otoczeniu niezbędnych dla realizacji procesu manipulacji. Zgodnie z danymi literaturowymi minimalna liczba palców dla chwytania polegającego na obejmowaniu przedmiotu z jednoczesnym oparciem na wewnętrznej powierzchni dłoni wynosi trzy (chwyt czteropunktowy) [1, 5]. U człowieka każdy palec ma 3 do 4 stopni swobody, co w wypadku chwytaka wymaga odpowiedniej liczby napędów, z których każdy musi być w odpowiedni sposób sterowany. Niezależnie od tego sterowanie poszczególnymi palcami musi zapewnić ich odpowiednią współpracę czasowo-przestrzenną. Wobec tego rozwiązanie zadania chwytania z jednej strony musi zapewnić kompleksowość i minimalny poziom ogólności podejmowanych zagadnień, zaś z drugiej racjonalność podejścia i np. adekwatne zminimalizowanie liczby sterowanych napędów. Najkorzystniejszym okazało się rozwiązanie z jednym palcem podpierającym i dwoma palcami typu kciuk. Napęd na paliczki jest z układów napędowych przenoszony przez popychacze/cięgła z dodatkowymi układami sprzęgieł podatnych o specjalnej konstrukcji. Wprowadzona podatność w istotny sposób poprawia funkcjonalność chwytaka zwiększając poziom jego antropomorfizmu. Założono, że palce zostaną dodatkowo pokryte materiałem podatnym z wbudowanymi czujnikami dotyku i pomiaru sił nacisku. Chwytak jest przystosowany do chwytania przedmiotów przez ich zaczepianie (działanie haczyka), zaciskanie, obejmowanie lub podtrzymywanie stabilizowane udziałem innego chwytaka (jak w typowej manipulacji dwuręcznej). W rozwiązaniu układu przewidziano ponadto zastosowanie:

- czujników do pomiaru sił kontaktowych nacisku szcęk (palców) chwytaka na powierzchnię manipulowanego przedmiotu,
- czujnika nadgarstkowego wektora sił/momentów do identyfikacji sił masowych (ciężkości, bezwładności, oddziaływania z otoczeniem chwytanego obiektu),

- wizyjnych metod identyfikacji cech geometrycznych przedmiotów manipulowanych w celu doboru najodpowiedniejszego sposobu ich podejmowania i chwytania oraz kontroli realizacji zadania manipulacyjnego.

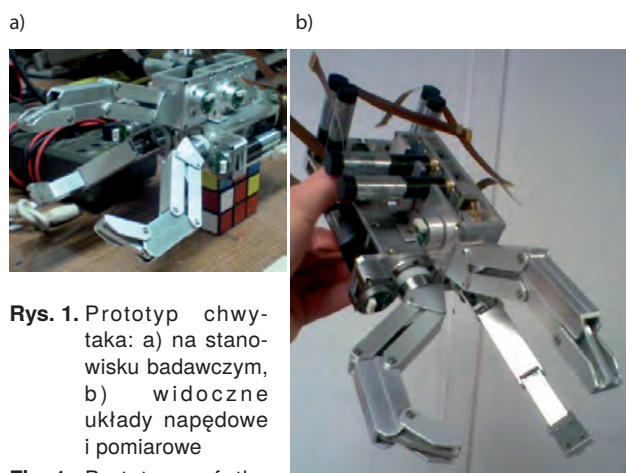
W opracowanym rozwiązaniu w celu uzyskania jak najwyższych osiągnięć systemu zaplanowano, że komponenty mechaniczne, elektryczne i elektroniczne (niezbędne układy napędowe, przekładniowe i transmisyjne, elementy złączne, czujniki itp.) zostaną w jak największym stopniu zintegrowane z układem mechanicznym chwytaka. Projekt części mechanicznej opracowano w systemie ProEngineer oraz wstępnie zbadano metodami symulacji komputerowej z wykorzystaniem programu ADAMS, co pozwoliło na oszacowanie podstawowych charakterystyk oraz ich optymalizację zgodnie z założonymi kryteriami.

2. Chwytnak

Robot w procesie manipulacji ma za zadanie doprowadzić końcówkę manipulatora do odpowiedniej pozycji, bezpiecznie uchwycić przedmiot za pomocą chwytaka, utrzymać go przez cały okres realizacji trajektorii i bezpiecznie uwolnić w miejscu przeznaczenia. Ważnym czynnikiem jest prawidłowe uchwycenie przedmiotu, często zależne od wielu czynników [4].

Na rys. 1 pokazano chwytak wielopalczysty w widoku ogólnym. Ma on trzy palce z podatnością w układach transmisji napędu, co zapewnia z jednej strony podatność zacisku szczęk zaś z drugiej bezpośredni pomiar sił oddziaływania szczęk na obiekt manipulacji. Pomiar sił nacisku szczęk jest realizowany przez pomiar ugięcia elementu podatnego w układzie transmisji napędu. Służą do tego bezstykowe czujniki magnetyczne ruchu obrotowego. Palec widoczny na zdjęciu jako górny jest palcem podpierającym, zaś dwa pozostałe są obrotowe co pozwala na lepsze dopasowanie do obiektu w trakcie chwytania.

Do napędu chwytaka zastosowano miniaturowe silniki z przekładniami zębatymi firmy MAXON oraz dodatkowymi dwoma stopniami przekładni o niewielkich współczynnikach przełożenia, z których drugi jest bezpośrednio sprzężony ze sprzęgłem podatnym zawierającym układ pomiaru



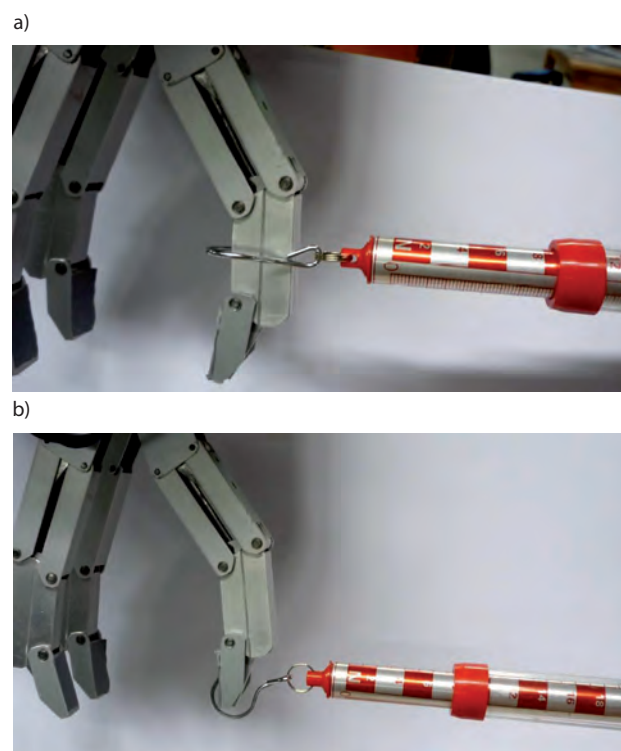
Rys. 1. Prototyp chwytaka: a) na stanowisku badawczym, b) widoczne układy napędowe i pomiarowe

Fig. 1. Prototype of the gripper: a) in the experimental stand, b) with visible driving and measuring systems

siły/momentu. Uzyskano w ten sposób bardzo wysoką sprawność zarówno przeniesienia napędu od silników na szczęki, jak i oddziaływania momentu zwrotnego na układy pomiarowe sił/momentów.

3. Wyznaczanie charakterystyk podatności szczęk chwytaka

W celu wyznaczenia charakterystyk podatności mechanizmów szczęk dokonano serii pomiarów ugięcia szczęk względem położenia w stanie nieobciążonym pod wpływem przyłożonej siły obciążenia zewnętrznego. Palec składa się z trzech paliczków, z których pierwszy ma kształt równoległoboku i jest napędzany, drugi jest poruszany przez ruch pierwszego (nie ma własnego napędu, lecz poruszając się zachowuje stałą orientację kątową względem podstawy), zaś trzeci jest napędzany za pomocą łączników i mechanizmu czworoboku skrzyżowanego, umieszczonego wewnątrz paliczka drugiego, rozpiętego na osiach paliczka pierwszego. W układzie transmisji zastosowano mechanizmy o współczynnikach przełożeń 1:1, co zapewnia pomiary sił/momentów zależnych jedynie od bieżącej konfiguracji chwytaka.

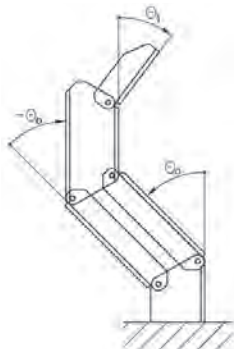


Rys. 2. Sposób przyłożenia sił przy pomiarze ugięcia szczęk chwytaka: a) na paliczek drugi - środkowy, b) na paliczek trzeci - końcowy

Fig. 2. Applied forces for the measure of elastic deformations of phalanges: a) phalange second – medium, b) phalange third – last

Na rys. 2 pokazano sposób przyłożenia siły zewnętrznej do paliczków w trakcie pomiarów. Siłę do paliczka drugiego przykładano w jego połowie – powoduje ona obciążenie napędu paliczka pierwszego. Siłę do paliczka trzeciego przykładano na jego końcu. Przyłożonej sile odpowiada moment zewnętrzny obciążający dany paliczek. Pomiarom podlegały wartości ugięć kątowych danego paliczka pod narastającym

obciążeniem mierzone za pomocą czujników na sprzęgłach podatnych. Charakterystyki odkształceń są zależne również od wartości bieżącej kąta danego paliczka, tj. od współrzędnej paliczka pierwszego i od współrzędnej paliczka trzeciego.



Rys. 3. Przyjęte współrzędne kątowe paliczków

Fig. 3. Coordinates of phalanges

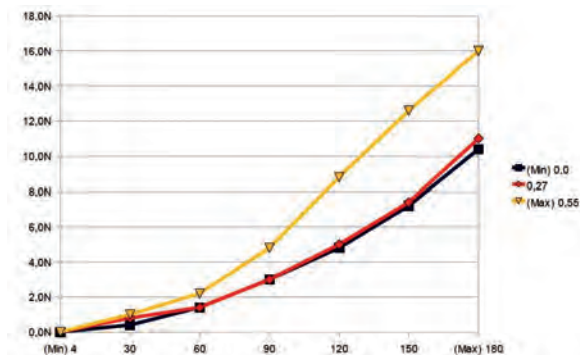
Na rys. 3 pokazano sposób pomiaru kątów zamknięcia paliczków. Kąty φ_0 i φ_1 są mierzone w układzie bezwzględnym, natomiast kąty ugięć sprężystych jako ich zmiany (są mierzone przez dodatkowe czujniki ulokowane na obrotowych konsolach).

4. Wyniki pomiarów

W układach pomiarowych zastosowano bezdotykowe czujniki magnetyczne 12-bitowe. Zakres zmian kąta obrotu szczęki wynosi 60° , natomiast maksymalne kątowe ugięcie sprężyste paliczka związane z ugięciem sprzęgła wynosi 15° .

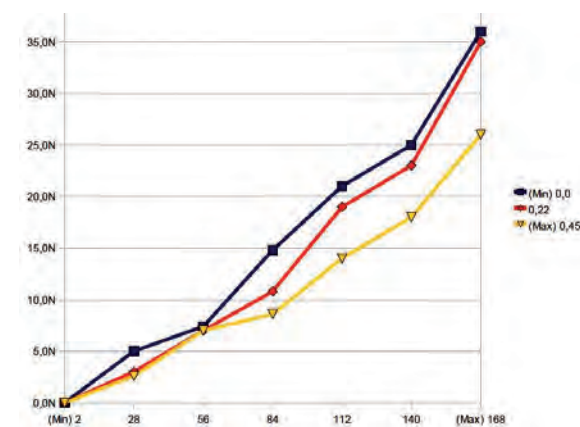
Na rys. 4 pokazano przykładową charakterystykę [2] zależności obciążenia zewnętrznego momentem, przyłożonego do paliczka pierwszego od ugięcia sprężystego w jego układzie transmisyjnym przy trzech różnych wartościach kąta obrotu szczęki o 0, 0,27 i 0,55 rad. Jak widać charakterystyka obciążenia zewnętrznego szczęki związana jest z jej podatnością (siłą zacisku) i jest w niewielkim stopniu zależna od kąta obrotu szczęki – narasta parabolicznie wraz ze zmianą kąta odkształceń sprężystych. Świadczy to o dobrych właściwościach adaptacyjnych chwytaka w procesie chwytania. Maksymalna siła sprężysta osiąga wartość 16 N w pozycji maksymalnego otwarcia chwytaka i jest adekwatna do wielkości chwytanych obiektów.

Na rys. 5. pokazano analogiczną charakterystykę obciążeniową mechanizmu paliczka trzeciego. Rozrzut charakterystyk ze zmianą kąta obrotu paliczka jest związany ze zmiennym wpływem sił tarcia w parach obrotowych.



Rys. 4. Charakterystyka siły reakcji sprężystej paliczka środkowego od kąta ugięcia sprężystego paliczka pierwszego. Kolorami oznaczono charakterystyki przy różnych wartościach kąta φ_0

Fig. 4. Functional characteristic of spring force of second phalange in the relation to elastic deformations of first phalange

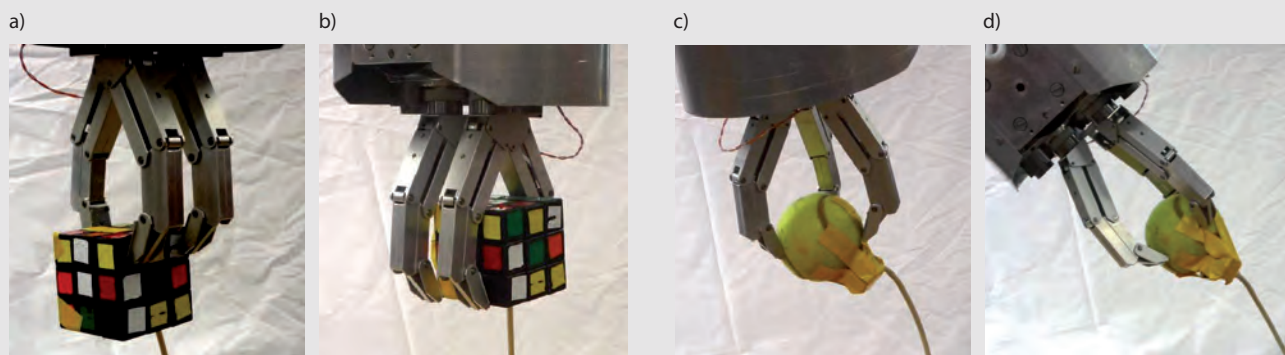


Rys. 5. Charakterystyka siły reakcji sprężystej paliczka trzeciego od kąta jego ugięcia sprężystego. Kolorami oznaczono charakterystyki przy różnych wartościach kąta θ_1

Fig. 5. Functional characteristic of spring force of third phalange in the relation to elastic deformations of this phalange

Paliczek trzeci jest krótszy od paliczka pierwszego, więc siła przykładana do jego końca jest większa i odpowiada wartości reakcji oddziaływania na obiekt w trakcie chwytu obejmującego przy zamknięciu obejmującym chwytaka.

Uzyskane wyniki pomiarów potwierdzają prawidłowość zastosowanych układów napędowych, transmisyjnych i sterujących. Wprowadzona podatność w układach transmisyjnych napędu na paliczki chwytaka polepsza jego właściwości adaptacyjne i rozszerza obszary możliwych zastosowań.



Rys. 6. Przykłady typowych zastosowań chwytaka wielopalczonego – chwytanie delikatnych obiektów o skomplikowanych kształtach

Fig. 6. Typical applications of multifinger gripper – prehension of delicate objects with untypical shapes

5. Przykłady zastosowań

Przeprowadzono serię badań laboratoryjnych z wykorzystaniem opracowanego chwytaka wielopalczastego, sprawdzających jego możliwości chwytne. W tym celu chwytak został zamontowany w kiści robota IRb-6 i podłączony do jego systemu sterowania MRROC++. Na rys. 6 pokazano przykładowe chwytaki w trybie pracy odpowiadającym chwytowi zaciskającemu i obejmującemu dla trzech typów obiektów. W trakcie pracy możliwe jest monitorowanie siły zacisku szczęk i dobór właściwego ich rozkładu na poszczególne obszary styku z obiektem.

6. Podsumowanie

W pracy zaprezentowano wyniki badań podstawowych charakterystyk dynamicznych chwytaka wielopalczastego z podatnością palców i kontrolowanymi siłami reakcji oddziaływania na obiekt podczas procesu chwytania. Przeprowadzone eksperymenty doświadczalne pokazują wysokie właściwości chwytne oraz w szczególności dobre właściwości adaptacyjne opracowanego rozwiązania.

Podziękowanie

Praca powstała w ramach grantu MNiI Nr NN 514128733 *Problemy aktywnego czucia, interpretacji informacji sensorycznej i manipulacji w robotach usługowych*, kierowanego przez prof. C. Zielińskiego z Instytutu Automatyki Politechniki Warszawskiej.

Bibliografia

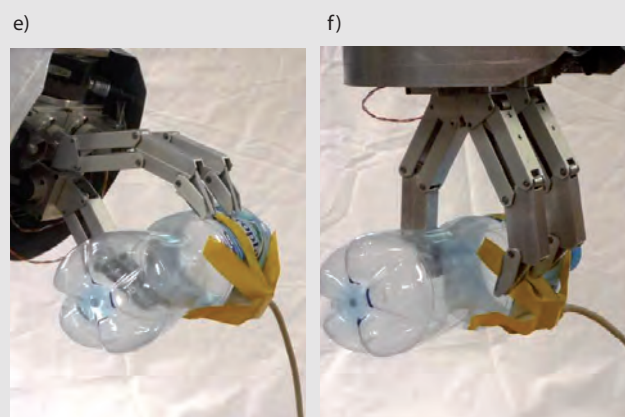
1. Berns K., Asfour T., Dillmann R.: *ARMAR – An Anthropomorphic Arm for Humanoid Robot*. Proc. Int. Conf. on Robotics and Automation, An Arbor Mich. 1999, p. 702–707.
2. Czajkowski K.: *System planowania i realizacji chwytów za pomocą robotycznych rąk*. Praca magisterska, Wydz. Elektroniki Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2010.
3. Kato I.: *Development of WASEDA Robot – The Study of Biomechanisms at Kato Laboratory*. 2nd edition, 1987.

4. Mianowski K.: *Nowe rozwiązanie chwytaka wielopalczastego z podatnością do obsługi specjalnych procesów manipulacji*. Mat. Konf. Automation 2009, Warszawa 2009.
5. Morecki A.: *Podstawy robotyki, teoria i elementy manipulatorów i robotów*. WNT Warszawa 1999, Wyd. III.
6. Ołędzki A.: *Podstawy teorii maszyn i mechanizmów*. WNT Warszawa, 1987.
7. Szykiewicz W.: *Planowanie manipulacji dwuręcznej*. [w:] *Postępy robotyki, Sterowanie z percepcją otoczenia*, pod red. K. Tchonia, WKŁ, Warszawa 2005, s. 187–196.
8. Zieliński C., Szykiewicz W., Mianowski K., Nazarczuk K.: *Mechatronic design of open-structure multi-robot controllers*. *Mechatronics*, 11(8), 2001, s. 987–1000.
9. Zieliński C., Szykiewicz W., Mianowski K., Rydzewski A., Winiarski T.: *Efektory robota usługowego do dwuręcznej manipulacji z czuciem*. Mat. Krajowej Konferencji Robotyki 2006. ■

New solution of the multifinger gripper with elasticity for special manipulation

Abstract: Basic kinematic and dynamic characteristics of a new solution of multifinger gripper with elasticity for special processes of manipulation is presented in the paper. Main purposes of the solution was concerned with cooperation of the gripper with objects made of wide range of soft, and hard material with very high level of functionality and easy of service.

Keywords: multifinger gripper, intelligent manipulation, machined prehension



dr inż. Krzysztof Mianowski

Adiunkt i nauczyciel akademicki w Zakładzie Teorii Maszyn i Robotów w Instytucie Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. Jest wynalazcą i konstruktorem wielu nowych rozwiązań manipulatorów robotów do badań laboratoryjnych, jak np. robota RNT (Robota Nowego Typu) o szeregowo równoległej strukturze ramienia i o dużej sztywności (opracowanego we współpracy z dr. inż. Kazimierzem Nazarczukiem), robota POLYCRANK – szybkiego robota o napędzie bezpośrednim i nieograniczonych obrotach w przegubach rozsprężonego dynamicznie (opracowanego we współpracy z dr. inż. Kazimierzem Nazarczukiem), lekkiego manipulatora o konstrukcji kompozytowej dla robota wspinającego Robug III (opracowanego we współpracy z prof. Edwardem Jezierskim z Politechniki Łódzkiej), grupy manipulatorów równoległych o sześciu stopniach swobody i rozsprężonej kinematyce – POLMAN, Platformy Stewarta o uproszczonej kinematyce do pomiarów kalibracyjnych, małego manipulatora do montażu na platformach mobilnych, robota Robin Heart-2 do zastosowań kardiochirurgicznych (opracowanego i wykonanego we współpracy z Fundacją Rozwoju Kardiochirurgii w Zabrzu), i wielu innych.

e-mail: kmianowski@meil.pw.edu.pl

