

dr inż. Krzysztof Mianowski
Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej
Politechnika Warszawska

NOWE ROZWIĄZANIE CHWYTAKA WIELOPALCZASTEGO Z PODATNOŚCIĄ DO OBSŁUGI SPECJALNYCH PROCESÓW MANIPULACJI

W pracy przedstawiono nowe rozwiązanie specjalnego chwytaka wielopalczastego z podatnymi palcami własnej konstrukcji. Główne założenia projektu dotyczyły możliwości współdziałania chwytaka z obiektami o różnych kształtach wykonanymi z materiałów niesztynnych o różnych właściwościach, a także z materiałami delikatnymi, wymagających szczególnej ostrożności przy manipulacji. 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.

NEW SOLUTION OF THE MANYFINGER GRIPPER WITH ELASTICITY FOR SPECIAL MANIPULATION

New solution of manyfinger 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.

1. WPROWADZENIE

Manipulując różnymi obiektami w zadaniach obsługowych, człowiek posługuje się dwiema rękami, a w szczególności dłońmi. To zadanie, tak typowe dla człowieka, powierzone robotom, wymaga kompleksowego dostosowania zarówno manipulatora-roboty oraz jego urządzeń chwytanych, jak i środowiska, w którym pracuje, w taki sposób, aby robot był nie tylko zdolny zastąpić człowieka w wykonywaniu określonych czynności manualnych, ale też mógł realizować tę pracę szybciej, dokładniej i precyzyjniej. 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.

Aby chwytak mógł obsłużyć czynności manipulacji typowe dla człowieka, korzystne jest, aby miał kształt antropomorficzny. Dłoń ludzka ma pięć palców i 18 stopni swobody, a cała ręka wraz z przedramieniem i ramieniem – 25 stopni swobody [5]. 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 od 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. Wstępna analiza procesu chwytania pokazuje, że korzystnym rozwiązaniem jest zastosowanie trzech palców.

Początkowo zakładano, że dobrym rozwiązaniem będzie rozwiązanie zawierające kciuk z dodatkowym obrotem wzdłużnym oraz dwa palce dociskające o nadmiarowej liczbie stopni swobody, napędzane za pośrednictwem elementów podatnych, w sposób automatyczny dozujących naciski poszczególnych paliczków na obiekt. Jednak badania wstępne wykazały, że takie rozwiązanie wzorowane na ręce o jedynie zmniejszonej liczbie palców zbyt ogranicza możliwości chwytne. Natomiast korzystnym okazało się rozwiązanie z jednym palcem podpierającym i dwoma palcami typu kciuk. Napęd na paliczki jest z układów napędowych przenoszonych przez popychacze/cięgła z dodatkowymi układami sprzęgieł podatnych o specjalnej konstrukcji. Wprowadzona podatność w istotny sposób poprawia funkcjonalność chwytaka, zwiększając poziom jego antropomorfizmu. Palce zostaną dodatkowo pokryte materiałem podatnym z wbudowanymi czujnikami dotyku i pomiaru sił nacisku. Chwytnak jest przystosowany do chwytania przedmiotów poprzez ich zaczepianie (działanie haczyka), zaciskanie, obejmowanie, podtrzymywanie stabilizowane udziałem innego chwytaka (jak w typowej manipulacji dwuręcznej). W rozwiązaniu układu planuje się ponadto zastosowanie:

- czujników do pomiaru sił kontaktowych nacisku szczęk (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,

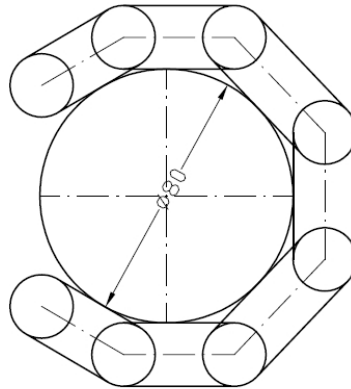
W opracowanym rozwiązaniu w celu jak najwyższych osiągnięć systemu zaplanowano, że komponenty mechaniczne, elektryczne i elektroniczne (niezbędne układy napędowe, przekładniowe i transmisyjne, elementy złączne, czujniki itp.) zostaną w jak największym stopniu zintegrowane z układem mechanicznym chwytaków. 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.PROJEKT CHWYTAKA

Zadaniem chwytaka jest, po doprowadzeniu końcówki manipulatora robota do odpowiedniej pozycji, bezpieczne uchwycenie przedmiotu, jego utrzymanie przez cały okres realizacji trajektorii i bezpieczne jego uwolnienie w miejscu przeznaczenia. Ważnym czynnikiem jest prawidłowe uchwycenie przedmiotu, często zależne od wielu czynników [4]. Realizację tych samych zadań kinematycznych można zapewnić przez różne typy mechanizmów, jak krzywkowe, dźwigniowe, ciągnowe, zębate czy też kombinowane [5, 6].

W procesie projektowania mechanizmu chwytaka uwzględniono następujące etapy:

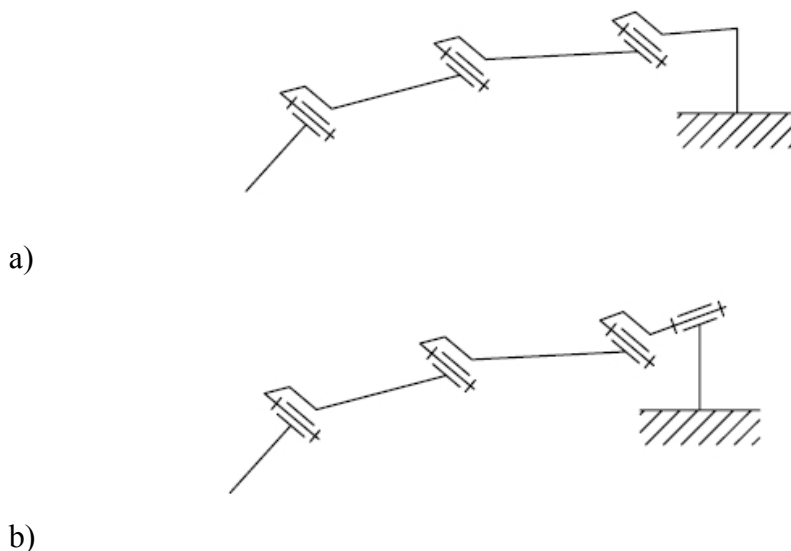
- dobór typu mechanizmu,
- dobór struktury w ramach typu,
- określenie parametrów geometrycznych.



Rys.1. Typowe przeznaczenie chwytaka – chwytanie obiektu o kształcie kuli wielkości piłki tenisowej

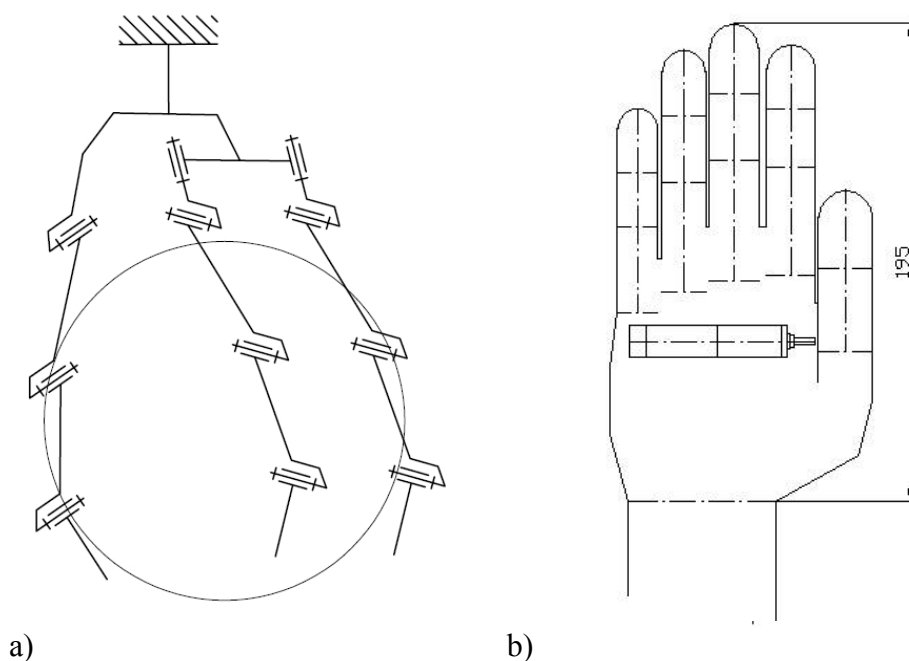
Koncepcję wstępną mechanizmu palca chwytaka wielopalczastego opracowano zgodnie z założeniem, że chwytak będzie wykorzystywany do chwytania przedmiotów obłych o wielkości odpowiadającej przedmiotom manipulowanym przez człowieka średniej budowy. Masę tych przedmiotów oszacowano na 0,5 kg, wielkość na obiekt mieszczący się w kuli (walcu) o średnicy do 80 mm, jak pokazano na rys. 1.

Jak widać najkorzystniejszym rozwiązaniem mechanizmu pojedynczego palca jest mechanizm przegubowy o trzech stopniach swobody (na rys. 1 pokazano dwa współpracujące palce) pozwalający na obejmowanie obiektu z trzech kierunków, wspólnie z palcem drugim dociskając obiekt do elementu oporowego podstawy mechanizmu. Przyjęte schematy kinematyczne mechanizmów palców pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Schematy kinematyczne mechanizmów palców:
 a) palca podpierającego, palca z obrotem wzdłużnym typu kciuk,
 b) palca z obrotem wzdłużnym typu kciuk

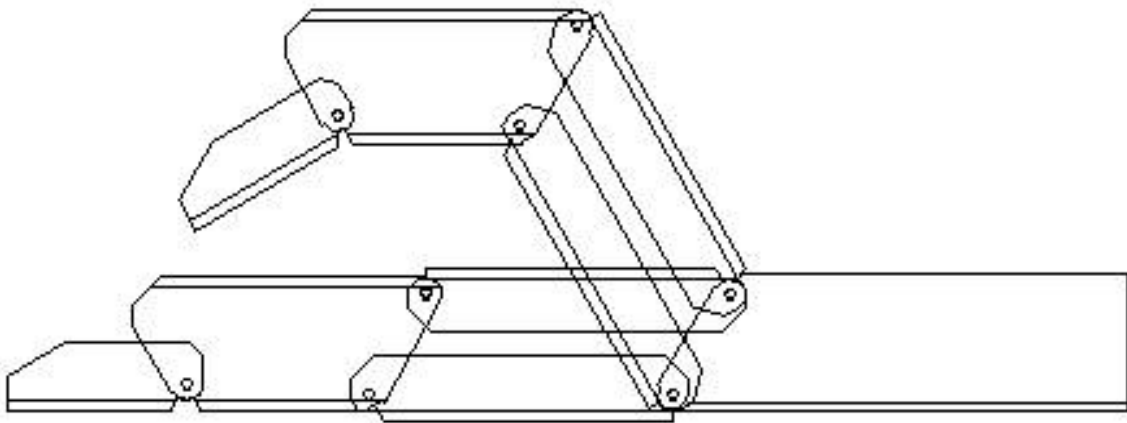
Na rys. 2a pokazano schemat kinematyczny palca podpierającego. Palec ten składa się z trzech paliczków połączonych szeregowo parami obrotowymi V klasy. Każda z tych par ma jeden obrotowy stopień swobody, co dla pojedynczego palca daje po trzy stopnie swobody. Do każdego z paliczków należy doprowadzić napęd. W proponowanym rozwiązaniu zdecydowano się zastosować miniaturowe silniki elektryczne prądu stałego firmy MAXON z przekładniami obiegowymi i przetwornikami położenia. W rozwiązaniu chwytaka wprowadzono jeden palec podpierający wg schematu jak na rys. 2a oraz dwa palce przeciwstawne typu kciuk z dodatkowym obrotem wzdłużnym palca w stanie wyprostowanym jak pokazano na rys. 2b. Na rys. 3a pokazano ogólną koncepcję realizacji chwytu oraz na rys. 3b pojedynczy silnik na tle kształtu dłoni ludzkiej w skali.



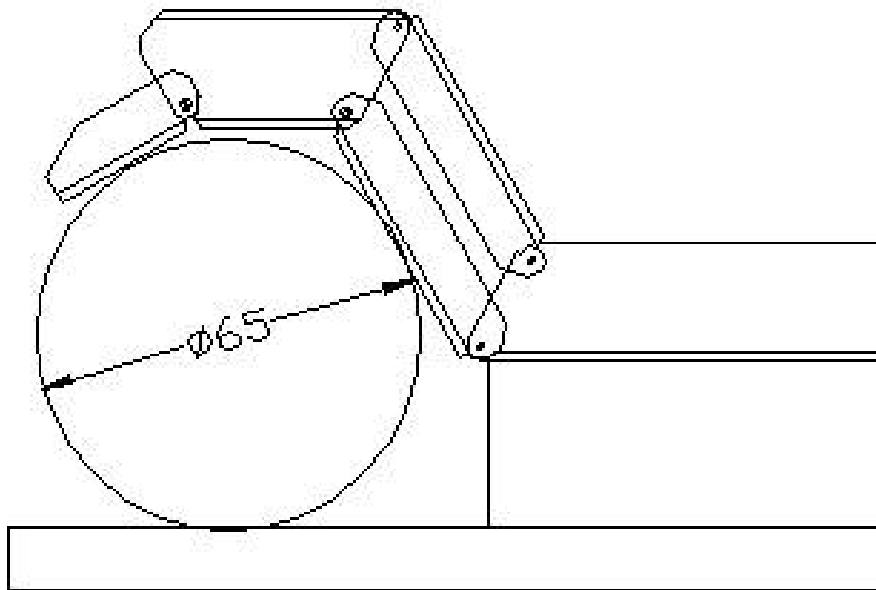
Rys. 3. Proponowana wielkość silnika napędowego pojedynczego paliczka na tle kształtu dłoni ludzkiej.

Problem redukcji liczby napędów można rozwiązać w różny sposób; w zaproponowanym rozwiązaniu dokonano mechanicznego sprzężenia ruchu paliczka drugiego z podstawą z zastosowaniem równoległowodu płaskiego w ten sposób, że jego orientacja w dowolnym położeniu jest stała, co zapewniając spełnienie wymogów funkcjonalnych polepsza dodatkowo właściwości dynamiczne palca. W ten sposób palec podpierający jest napędzany przez dwa silniki, zaś dwa pozostałe, każdy przez trzy silniki. Sumaryczna liczba napędów wynosi osiem. Ten sposób realizacji mechanizmu pokazano na rys. 4.

Przykład chwytania przedmiotu w postaci walca o średnicy 65 mm z zastosowaniem elementu oporowego w postaci belki prostej pokazano na rys. 5 (jest to stan pracy z wyprostowanym palcem przeciwstawnym). Jak widać na rysunku niezależne sterowanie paliczkiem pierwszym i trzecim pozwala na chwytanie obiektów o różnej wielkości i kształtach. Dodatkową zaletą takiego rozwiązania jest zmniejszenie liczby zmiennych opisujących wielkość obiektu i zmniejszenie udziału liczby napędów w konstrukcji.

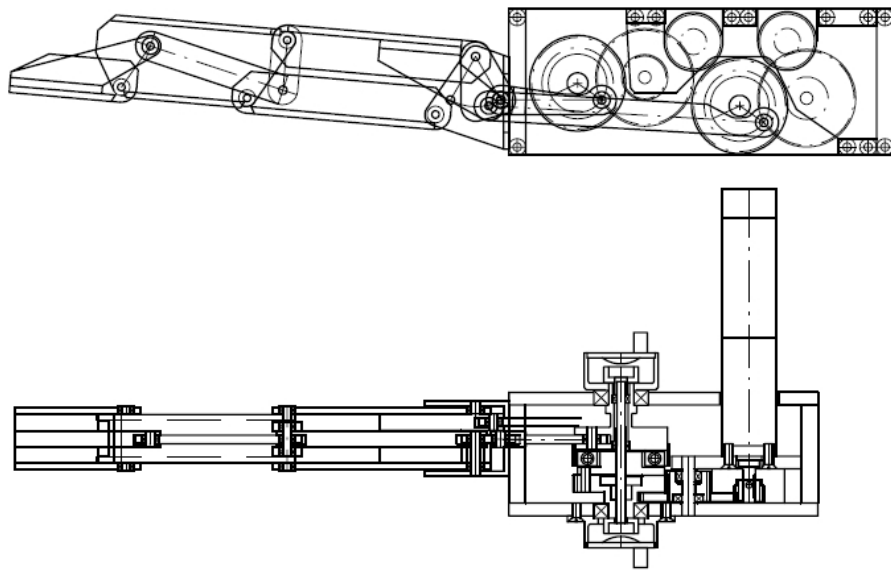


Rys. 4. Mechanizm palca z aktywnymi paliczkami pierwszym i trzecim oraz stałym kątem paliczka drugiego

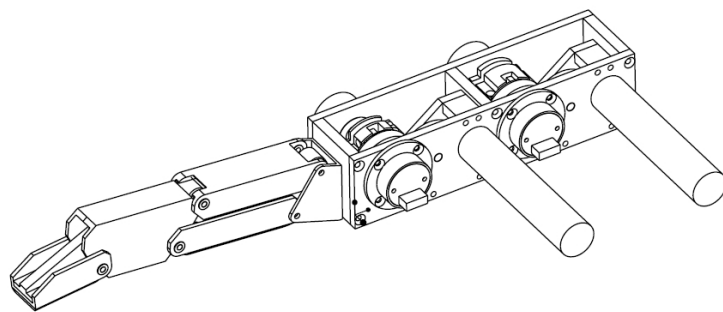


Rys. 5. Przykład sposobu pracy pojedynczego palca przy chwytaniu obiektu (opis w tekście)

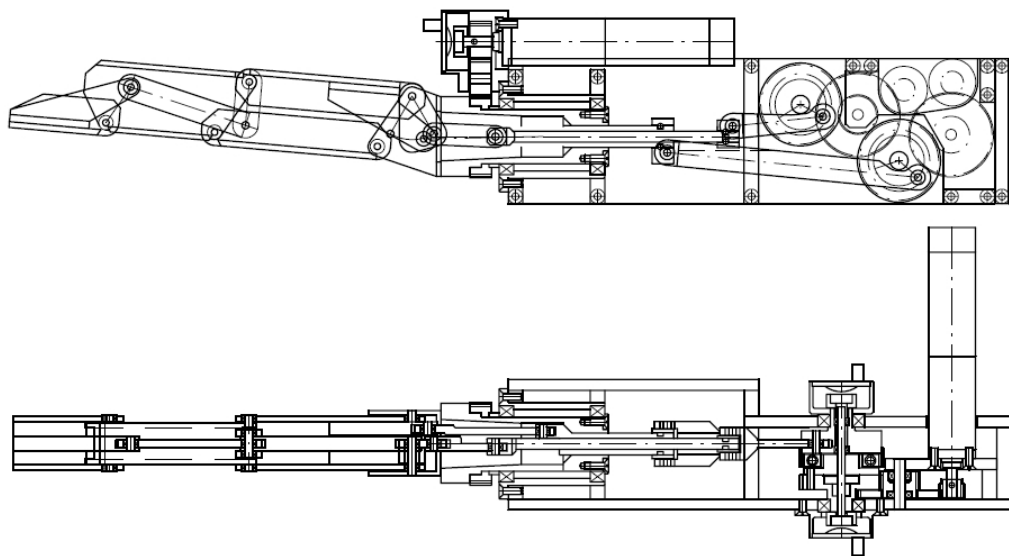
Dla zmniejszenia masy i wymiarów palców oraz zapewnienia odpowiednio wysokiej funkcjonalności przewidziano, że układy napędowe zostaną zamontowane w korpusie chwytaka. Wymaga to zastosowania mechanizmów transmisyjnych. Problem ten rozwiązano z zastosowaniem płaskich mechanizmów dźwigniowych przekazujących ruch z korb wałków wyjściowych przekładni poprzez dźwignie pośredniczące w przegubach palca na odpowiednie paliczki, jak pokazano na rys. 6 i 8.



Rys. 6. Rozwiązanie konstrukcyjne mechanizmu palca



Rys. 7. Projekt 3D palca w systemie ProEngineer

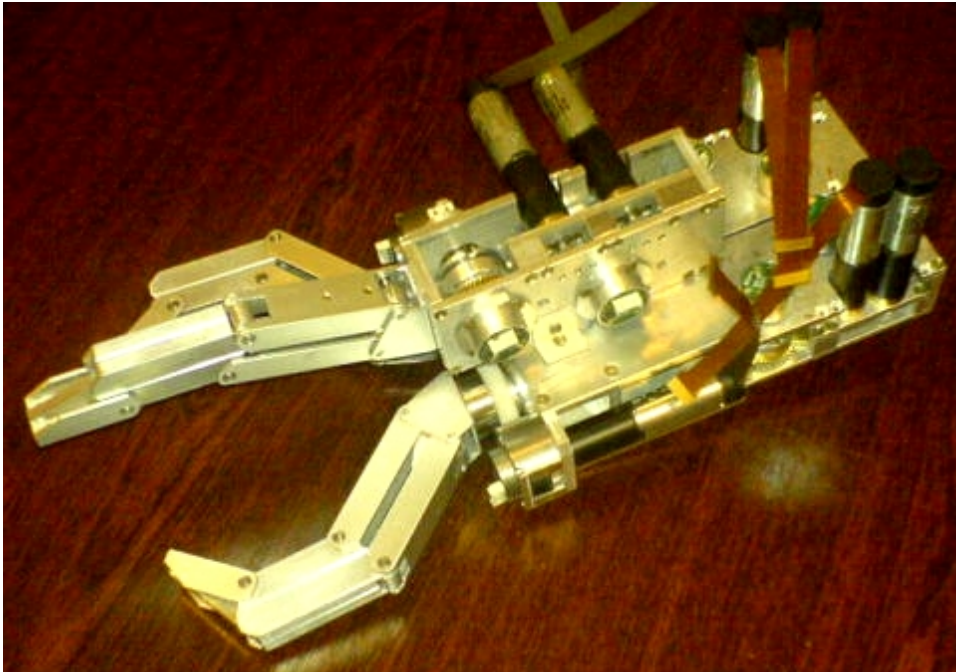


Rys. 8. Rozwiązanie konstrukcyjne mechanizmu palca obrotowego typu kciuk

3. PROTOTYP CHWYTAKA

Zgodnie z opracowaną dokumentacją wykonano mechanizmy palca zarówno oporującego jak i obrotowego typu kciuk wraz z napędem.

Elementy paliczek wykonano z typowych kształtowników duraluminiowych z duraluminium PA38. Poszczególne paliczki palców oraz elementy konstrukcyjne układu napędowego jak i transmisyjnego ułożyskowano tocznie z zastosowaniem miniaturowych łożysk kulkowych. W rozwiązaniu konstrukcyjnym chwytaka zastosowano mechanizmy transmisyjne ze sprzęgłami o specjalnej konstrukcji zapewniającymi z jednej strony podatność zacisku szczęk zaś z drugiej bezpośredni pomiar sił oddziaływania szczęk na obiekt manipulacji. W tym celu z silnikiem połączono szeregowo dodatkową przekładnię zębatą zawierającą obejmę w kształcie rozety współpracującą za pośrednictwem zespołu sprężyn ze specjalnej konstrukcji krzyżakiem. Z wałem po stronie obejmę połączono bezstykowo czujnik pomiaru obrotu bezwzględego, zaś z wałem po stronie krzyżaka dodatkowy czujnik do pomiaru kąta obrotu względnego obejmę i krzyżaka.



Rys. 9. Prototyp chwytaka z układami napędowymi

Pomiar tego kąta niesie informację o wartości momentu obciążenia zewnętrznego działającego na szczękę. Do napędu chwytaka miniaturowe silniki z przekładniami zębatymi firmy MAXON. Uzyskano w ten sposób bardzo wysoką sprawność przeniesienia napędu zarówno od silników na szczęki, jak i oddziaływania momentu zwrotnego na układy pomiarowe sił/momentów. Na rys. 9 pokazano wstępnie zmontowany prototyp chwytaka przygotowany do badań stanowiskowych.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Projekt konstrukcji opracowano z wykorzystaniem programu ProEngineer. Należy podkreślić, że projektowanie z wykorzystaniem systemu 3D zapewniło możliwość jednoczesnego prowadzenia prac nad rozwojem koncepcji projektu, dokonywania na bieżąco niezbędnych

analiz i obliczeń w zakresie wytrzymałości i dynamiki oraz przede wszystkim możliwe było już na etapie opracowania projektu najbardziej racjonalne rozmieszczenie poszczególnych elementów składowych i związana z tym minimalizacja obszaru przestrzeni zajmowanej przez projektowany zespół. W szczególności rozmieszczenie silników napędowych i ich dodatkowych przekładni zdawczych oraz rozmieszczenie dodatkowego wyposażenia jak mikrowyłączniki krańcowe i synchronizacyjne, okablowanie, łączówki elektryczne zostały bardzo estetycznie zintegrowane z konstrukcją chwytaka, tworząc kompaktową konstrukcję mechatroniczną.

Animacja współpracy poszczególnych podzespołów pozwoliła na optymalne wykorzystanie miejsca dla mechanizmów, a także zintegrowanie wszystkich elementów składowych w jedną całość i umieszczenie ich w estetycznej obudowie. Niezależnie od tego opracowano też elementy wirtualnej rzeczywistości, w której pracuje projektowany zespół, dzięki czemu przeprowadzono wstępne symulacje pracy całego zespołu we współpracy z robotem.

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, pp. 702-707,
2. Kato I.: Development of WASEDA Robot – The Study of Biomechanisms at Kato Laboratory, 2nd edition, 1987,
3. Mianowski K., Nazarczuk K., Słomkowski T.: Dynamic model for the selection of servomotors in serial-parallel manipulator, Int. Conf. CIM, Zeszyty Naukowe Polit. Śląskiej, seria Mechanika, z. 108, str. 261-268, Gliwice, 1992.
4. Mianowski K.: Analiza właściwości chwytaka specjalnego przeznaczonego dla robota usługowego, mat. Kraj. Konf. TMM, Zielona Góra 2006, str. 185-190.
5. Morecki A.: Podstawy robotyki, teoria i elementy manipulatorów i robotów, WNT Warszawa 1999, Wyd. III.
6. Olędzki 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, str. 187-196.
8. Zieliński C., Szykiewicz W., Mianowski K., Nazarczuk K.: Mechatronic design of open-structure multi-robot controllers, Mechatronics, 11(8), 2001, str. 987-1000.
9. Zieliński C., Szykiewicz W., Mianowski K., Rydzewski A., Winiarski T.: Efektory robota usługowego do dwuręcznej manipulacji z czuciem, mat. Krajową Konferencję Robotyki 2006.