

Chwytek wielopalczasty dla robota usługowego – konstrukcja

Krzysztof Mianowski**, Konrad Banachowicz*, Tomasz Winiarski*, Cezary Zieliński*,
Wojciech Szynkiewicz*, Krzysztof Czajkowski*

*Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej,
**Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej Politechniki Warszawskiej

Streszczenie: W pierwszej części artykułu poświęconego konstrukcji, sterowaniu oraz planowaniu ruchów trójpalczastego chwytaka, opisano jego budowę mechaniczną oraz układy elektroniczne sterujące silnikami powodującymi ruchy paliczków.

Słowa kluczowe: chwytek wielopalczasty, sterowanie robotami, planowanie chwytów

Podstawowym zadaniem robotów usługowych jest, jak sama nazwa wskazuje, świadczenie usług na rzecz ludzi. Usługi te sprowadzają się przede wszystkim do pomocy ludziom w domu, biurze czy innych budynkach użyteczności publicznej. Wymienione środowiska są dostosowane do możliwości ruchowych człowieka, a więc roboty usługowe powinny mieć podobne zdolności. Dotyczy to w szczególności dwuręczności oraz wielopalczastości ich dłoni, ponieważ stworzone dla nas i przez nas otoczenie wykorzystuje fakt, że jesteśmy przez ewolucję wyposażeni w dwie ręce oraz dłonie wielopalczaste. Nasze zdolności manipulacyjne wynikają nie tylko z pięciopalczastych dłoni, ale również z posiadania subtelnego zmysłu dotyku. Podobny zmysł będzie musiał być odtworzony w robotach usługowych. Do tego celu zastosowane będą czujniki sił i momentów sił montowane zarówno w nadgarstkach, jak i w palczkach palców. Na uwagę zasługuje, że pomiar składowych sił potrzebny jest nie tylko do wyczuwania kontaktu z obiektami, co prowadzi do ich precyzyjnej lokalizacji, ale również zapobiega nadmiernej kumulacji sił w tworzonych w trakcie manipulacji zamkniętych łańcuchach kinematycznych. Zarówno oburęczna manipulacja tworzy zamknięty łańcuch kinematyczny (przez ręce, obiekt i tułów), jak i chwytanie palcami przedmiotów (przez palce, obiekt i wnętrze dłoni). Brak dokładnej znajomości parametrów modelu kinematycznego manipulatorów bądź chwytaków oraz uchwyconego obiektu prowadzi do nadmiernej kumulacji sił reakcji w łańcuchu, co w konsekwencji może prowadzić do zniszczenia manipulatorów, palców dłoni lub obiektu. Dlatego tak ważne jest wyczuwanie tych sił przez czujniki i dokonywanie bieżących korekt ruchu. Powoduje to nieustające zainteresowanie zarówno konstrukcją dłoni, jak i badaniami nad algorytmami sterowania pozycyjno-siłowego. Niemniej jednak już obecnie otwieranie i zamykanie butelek oraz słoików [12], jednoręczne [11] i dwuręczne odsuwanie szuflad, otwieranie drzwi zamkniętych na klamkę [9] lub obracanie ścianek kostki Rubika przy jednoczesnym unikaniu ich zakleszczenia [15, 16] nie przedstawiają nadmiernych problemów.

Część pierwsza tego trzyczęściowego artykułu przedstawia zarówno konstrukcję chwytaka trójpalczastego przeznaczonego do montowania na zmodyfikowanych manipulatorach IRp-6 zestawionych w system dwuręczny [14, 17], jak i elektroniki sterującej jego silnikami. Część druga opisuje algorytm sterujący palcami oraz określa miejsce modułu sterującego chwytakiem w strukturze systemu sterowania całym robotem usługowym. Część trzecia przedstawia algorytm generowania chwytów obiektów o wybranych kształtach. Podsumowanie podaje wstępne rezultaty eksperymentów przeprowadzonych na tym systemie badawczym.

Prace nad chwytakami typu sztuczna dłoń są aktualnie prowadzone w wielu ośrodkach na świecie. Jednym z pierwszych rozwiązań była dłoń czteropalczasta dla sztucznej ręki pneumatycznej autorstwa K. Nazarczuka [10] o prostej konstrukcji szkieletowej napędzana pneumatycznie. Warto tutaj dodać, że manipulator ten był zbudowany na kształt ręki ludzkiej i składał się z metalowych „kości” tworzących szkielet, był napędzany za pomocą sztucznych mięśni pneumatycznych i sterowany analogowo z wykorzystaniem miopotencjałów.

1. Konstrukcja mechaniczna chwytaka

1.1. Przegląd konstrukcji chwytaków

W latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku uruchomiono w Japonii wiele programów robotycznych, które zaowocowały licznymi opracowaniami sztucznych dłoni [6] stosowanych zarówno jako wyposażenie robotów, jak i urządzeń protetycznych. Były to: pięciopalczasta Chuo-Hand X1, trójpalczasta Flexible Mechanical Hand, antropomorficzne dłonie robota WAM-4 i WAM-5 (robot WAM-5 na otwarciu wystawy światowej w Tokio grał zaprogramowane melodie na pianinie), Kumadai Hand IV. Dłonie te zostały opracowane w Uniwersytecie Tokijskim i Uniwersytecie Waseda. W większości tych rozwiązań dłonie składały się z palczków połączonych przegubowo i napędzanych zdalnie za pomocą cięgieł lub linek. W tych rozwiązaniach główny nacisk kładziono na prostotę rozwiązania mechanicznego oraz odpowiednią transmisję napędów.

W pracy [2] przedstawiono chwytek typu sztuczna dłoń z trzema palcami, którego główną cechą ma być niski koszt wykonania i obsługa prostych czynności manipulacyjnych. Każdy palec stanowi tutaj mechanizm płaski z trzema palczkami, przy czym palczki palca są sprzężone kinematycznie, dzięki temu obsługiwane przez jeden napęd. Upraszcza to sterowanie i obniża koszty. Chwytek nadaje się do chwytania obiektów typu walec, kostka, jajko itp. Jednym z ciekawszych rozwiązań sztucznej dłoni jest DLR Hand I i II opracowane przez zespół prof. Hirzinger

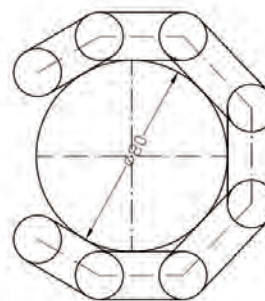
z Niemieckiego Instytutu Robotyki i Mechatroniki w Wessling [1, 3, 13]. Jest to konstrukcja bardzo zaawansowana technologicznie, w której zastosowano miniaturowe silniki elektryczne zintegrowane z miniaturowymi przekładniami falowymi. W konstrukcji palców zastosowano miniaturowe układy napędowe, sensoryczne i sterujące, przy czym paliczki pierwszy i drugi mają oddzielne napędy zaś trzeci jest kinematycznie sprzężony z drugim. W paliczku trzecim wbudowano sensor siły o zakresie do 10 N, natomiast elektroniczne układy sterujące są wbudowane w elementy nośne paliczków. Wszystkie te układy zostały zintegrowane z dłońią i palcami. Rozwiązanie to skomercjalizowano, jednak jest bardzo drogie i ma ograniczone zastosowania.

Również w początku lat osiemdziesiątych opracowano we współpracy uniwersytetów MIT i Utah sztuczną dłoń nazwaną MIT/UTAH Dextrous Hand [4]. Ręka ma pięć palców o geometrii i kinematyce bardzo zbliżonej do dłoni ludzkiej. W rozwiązaniu tym wszystkie paliczki każdego palca są napędzane pneumatycznie przez dwa siłowniki z przeniesieniem napędu za pomocą linek kewlarowych, które są przenizane przez odpowiednie zaczepy w okolicy przegubów, związane z palczkami, przy czym silniki/siłowniki mogą być zabudowane w podstawie lub w przedramieniu manipulatora podobnie jak w ręce ludzkiej. Podobny układ kinematyczny jak dłoń MIT/Utah Dextrous Hand ma NTU Hand [7], jednak w tym rozwiązaniu do napędu każdego palca zastosowano silniki elektryczne wbudowane w nasadę każdego paliczka z redukcją napędu za pomocą wielostopniowych miniaturowych przekładni zębatych wbudowanych w paliczek. Zaletą jest zintegrowana konstrukcja. Zaplanowano również zastosowanie miniaturowych rezystancyjnych czujników nacisku przyklejonych do paliczka środkowego.

Bardzo ciekawą jest konstrukcja zaprezentowana w [5]. W zaproponowanym rozwiązaniu z czterema palcami zastosowano modułowe rozwiązania mechanizmów paliczków, przy czym pierwszy paliczek ma u nasady dwa stopnie swobody i może się zginać w dwóch kierunkach. W celu odsunięcia osi jednego z silników napędowych tego paliczka, do transmisji użyto mechanizmu równoległobocznego, co znacznie uprościło konstrukcję. Natomiast trzeci paliczek sprzęgnięto kinematycznie z drugim w ten sposób, że podczas zgięcia paliczka drugiego paliczek trzeci zgina się względem drugiego o prawie taki sam kąt. Zastosowano tutaj mechanizm płaskiego czworoboku przegubowego skrzyżowanego. Upraszcza to i racjonalizuje konstrukcję, zmniejsza liczbę napędów i upraszcza sterowanie. Podsumowując, w istniejących konstrukcjach chwytaków typu sztuczna dłoń można wyróżnić rozwiązania z napędem transmitowanym z podstawy, z układami napędowymi w dłoni i z miniaturowymi układami napędowymi w palczkach. Przyjęte rozwiązanie napędu ma istotny wpływ na konstrukcję dłoni i palców oraz na koszty. Miniaturowe przekładnie falowe są bardzo drogie i trudnodostępne.

1.2. Założenia i realizacja

Założono, że chwytak wielopalczasty będzie wykorzystywany do chwytania przedmiotów obłych o wielkości odpowiadającej przedmiotom manipulowanym przez człowieka średniej budowy. Masę tych przedmiotów określono na 0.5 kg, natomiast ich rozmiar powinien być zawarty w kuli (walcu) o średnicy do 80 mm, jak pokazano na rys. 1.



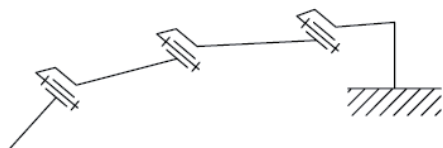
Rys. 1. Typowe przeznaczenie chwytaka – chwytanie obiektu o kształcie kuli wielkości piłki tenisowej

Fig. 1. Typical application of the gripper – grasping a spherical object of the size of a tennis ball

Typowe chwytaki przemysłowe, wyposażone w sztywne szczęki chwytają i utrzymują obiekty przez zacisk odpowiednio zadaną siłą i trzymanie obiektu siłami tarcia lub trzymanie kształtowe (obejmujące), przy czym obszary styku z przedmiotem są zależne od rodzaju materiału (sztywny lub podatny), kształtu przedmiotu i kształtu powierzchni szczęk w obszarze styku. Wskazane jest, aby kształt powierzchni wewnętrznych szczęk i ich maksymalne rozsuniecie były odpowiednio dopasowane do właściwości przedmiotów manipulowanych. Mimo tego, w przypadku obiektów z materiałów kruchych, w obszarze styku mogą powstać naciski i naprężenia kontaktowe prowadzące do uszkodzenia obiektu.

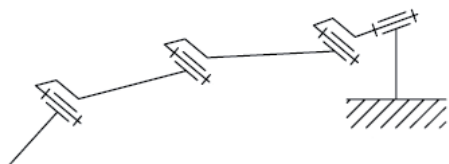
Chwytak jest przeznaczony do manipulowania różnymi obiektami o wymiarach zmieniających się w pewnych granicach i skomplikowanych niezdeterminowanych kształtach. Powinien umożliwiać chwytanie obiektów wykonanych z materiałów kruchych, a ponadto zapewnić możliwość styku szczęk z obiektem w wielu punktach (obszarach). Zdecydowano, że dla zapewnienia chwytu kształtowego obejmującego, chwytak musi mieć co najmniej trzy szczęki, natomiast dla zapewnienia styku wielopunktowego w miejsce szczęk zastosowano wielosegmentowe palce. Aby każdy paliczek takiego palca mógł realizować styk z obiektem powinien mieć własny napęd, co wymaga rozbudowanej konstrukcji i skomplikowanego układu sensoryczno-sterującego. Korzystniejszym jest sprzęgnięcie wybranych sąsiednich paliczków i wprowadzenie w układy transmisji napędu tzw. łączników podatnych (elementów sprzężystych). W takim rozwiązaniu wymuszenie kinematyczne ruchu paliczka podczas zamykania chwytaka najpierw powoduje dosunięcie paliczka do powierzchni obiektu, a następnie od momentu zetknięcia paliczka z obiektem powoduje zwiększanie lokalnej siły nacisku na obiekt – zastosowane elementy podatne odkształcają się pod obciążeniem, przy czym odkształcenie jest zmienne zależnie od obciążenia zewnętrznego i można je w prosty sposób zmierzyć. Przy tym rozwiązaniu położenie chwytanego obiektu nie musi być znane precyzyjnie. Niedokładności pomiaru położenia obiektu zostają skompensowane podatnością bierną.

Pojedynczy palec został zaprojektowany jako mechanizm przegubowy o trzech stopniach swobody (na rys. 1 pokazano dwa współpracujące palce). Powielono go dla trzech palców, co pozwoliło na obejmowanie obiektu z trzech



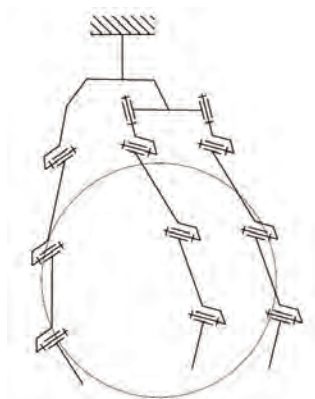
Rys. 2. Schemat kinematyczny mechanizmu szkieletu palca podpierającego

Fig. 2. Kinematic structure of the mechanism of the supporting finger



Rys. 3. Schemat kinematyczny mechanizmu szkieletu palca z obrotem wzdłużnym – typu kciuk

Fig. 3. Kinematic structure of the mechanism of the thumb type finger



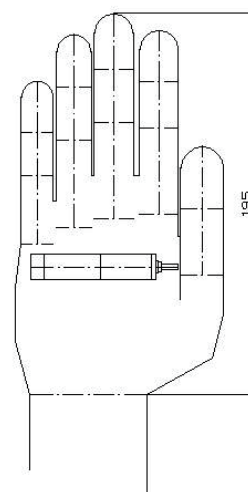
Rys. 4. Schemat kinematyczny chwytaka: ogólna koncepcja chwytu

Fig. 4. Kinematic structure of the gripper: general concept of grasping

kierunków. Jeden palec z mechanizmem w płaszczyźnie stałej i dwa obracające się względem osi podłużnej palca, gdy jest on wyprostowany. Przyjęte schematy kinematyczne mechanizmów palców pokazano na rys. 2, 3.

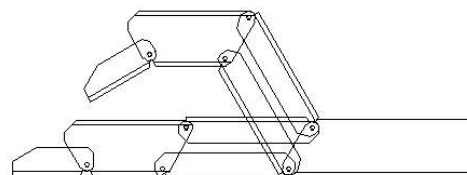
Na rys. 2 pokazano schemat kinematyczny palca podpierającego. Palec ten składa się z trzech paliczków połączonych szeregowo parami obrotowymi V klasy. Każda z tych par ma jeden obrotowy stopień swobody, co dla pojedynczego palca daje po trzy stopnie swobody. Do każdego z paliczków należy doprowadzić napęd. W proponowanym rozwiązaniu zastosowano miniaturowe silniki elektryczne prądu stałego firmy MAXON z przekładniami obiegowymi i przetwornikami położenia. Na rys. 4 pokazano ogólną koncepcję realizacji chwytu, a na rys. 5 pojedynczy silnik na tle kształtu dłoni ludzkiej w skali.

W przyjętym rozwiązaniu dokonano mechanicznego sprzężenia paliczka drugiego z podstawą z zastosowaniem równoległowodów płaskiego (rys. 6) w ten sposób, że jego



Rys. 5. Wielkość silnika napędowego pojedynczego paliczka na tle kształtu dłoni ludzkiej w tej samej skali

Fig. 5. The size of the motor driving a single phalange displayed against a human hand presented using the same scale



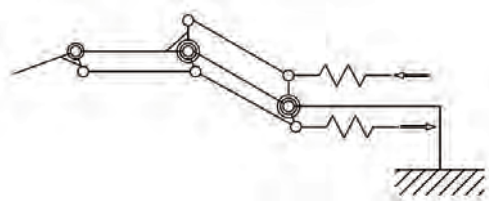
Rys. 6. Mechanizm palca z aktywnymi paliczkami pierwszym i trzecim oraz stałą orientacją paliczka drugiego: podstawowa idea rozwiązania

Fig. 6. The active first and third phalanges and the fixed orientation of the second phalange of the finger mechanism: the general concept

orientacja w dowolnym położeniu jest stała, co zapewnia spełnienie wymogów funkcjonalnych i polepsza 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. 7. Jak widać na rysunku, niezależne sterowanie paliczkiem pierwszym i trzecim pozwala na chwytywanie obiektów o różnej wielkości i kształtach. Dodatkową zaletą takiego rozwiązania jest zmniejszenie liczby napędów w konstrukcji.

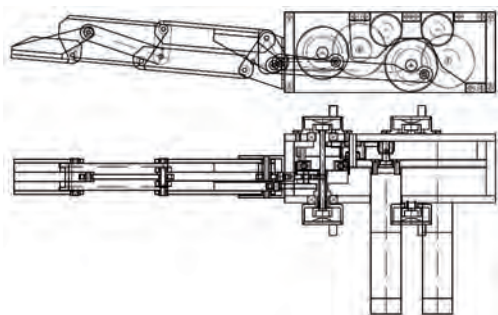
Dla zmniejszenia masy i wymiarów palców przewidziano, że układy napędowe zostaną zamontowane w korpusie chwytaka. Wymaga to zastosowania mechanizmów transmisyjnych. Problem ten rozwiązano z zastosowaniem płaskich mechanizmów dźwigniowych przekazujących ruch z korb wałków wyjściowych przekładni poprzez dźwignie pośredniczące w przegubach palca na odpowiednie paliczki, jak pokazano na rys. 8 i rys. 9.

Elementy paliczków wykonano z typowych kształtowników z duraluminium PA38. Poszczególne paliczki 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



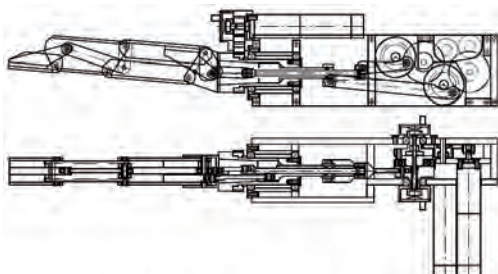
Rys. 7. Mechanizm palca z aktywnymi paliczkami pierwszym i trzecim oraz stałą orientacją paliczka drugiego: schemat mechanizmu z równoległowodem i układem przeniesienia napędu na paliczek trzeci oraz sprężystymi elementami transmisyjnymi paliczków napędzanych

Fig. 7. The active first and third phalanges and the fixed orientation of the second phalange of the finger mechanism: structure of the mechanism containing a parallelogram, actuation transmission to the third phalange and spring elements



Rys. 8. Rozwiązanie konstrukcyjne mechanizmu palca podpierającego

Fig. 8. Design of the mechanism of the supporting finger

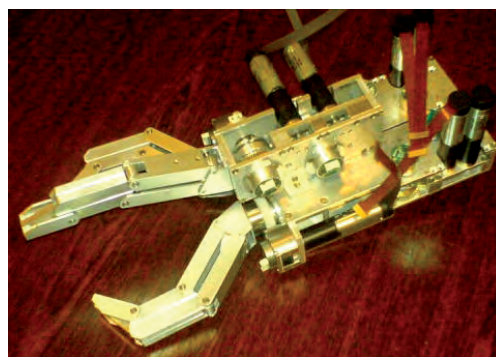


Rys. 9. Rozwiązanie konstrukcyjne mechanizmu palca obrotowego typu kciuk

Fig. 9. Design of the mechanism of the thumb type finger

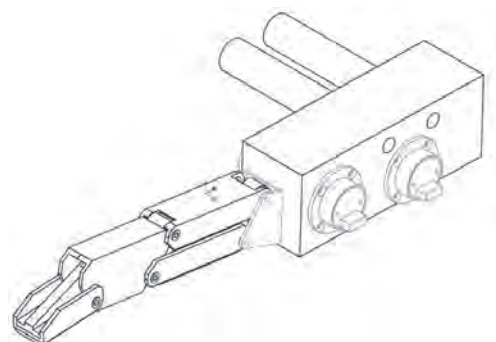
strony podatność zacisku szczęk zaś z drugiej bezpośredni pomiar sił oddziaływania szczęk na obiekt manipulacji. W tym celu z silnikiem połączono szeregowo dodatkową przekładnię zębatą zawierającą obejmę w kształcie rozety współpracującą za pośrednictwem zespołu sprężyn ze specjalnej konstrukcji krzyżakiem. Z wałem po stronie obejmę połączono bezстыkowo czujnik pomiaru obrotu bezwzględny, zaś z wałem po stronie krzyżaka dodatkowy czujnik do pomiaru kąta obrotu względnego obejmę i krzyżaka.

Pomiar tego kąta niesie informację o wartości momentu obciążenia zewnętrznego działającego na szczękę. Ponadto wprowadzona podatność ułatwia sterowanie zaciskaniem się palców w przypadku mało dokładanej znajomości chwytanego obiektu. Do napędu chwytaka zastosowano miniaturowe silniki z przekładniami zębatymi firmy MAXON. Uzyskano w ten sposób bardzo wysoką sprawność przeniesienia napędu zarówno od silników na szczęki, jak i oddziaływania



Rys. 10. Prototyp chwytaka z układami napędowymi

Fig. 10. The prototype of the gripper including the drives



Rys. 11. Projekt 3D palca w systemie ProEngineer

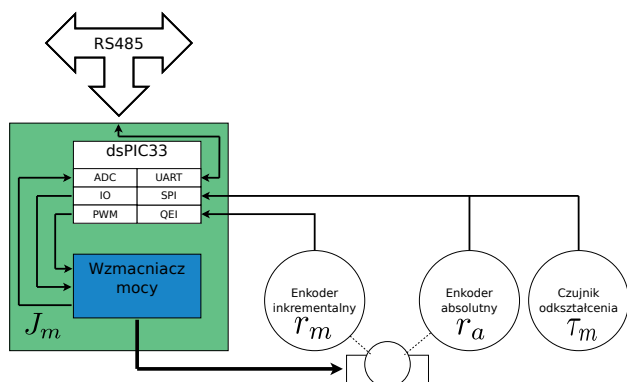
Fig. 11. ProEngineer 3D view of the designed gripper

momentu zwrotnego na układy pomiarowe sił/momentów. Na rys. 10 pokazano prototyp chwytaka przygotowany do badań stanowiskowych.

Projekt konstrukcji opracowano z wykorzystaniem programu ProEngineer WF v. 4.0. 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 (rys. 11) i dodatkowych przekładni redukcyjnych 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.

2. Sprzęt elektroniczny sterujący chwytakiem

Poruszanie mechanicznymi częściami chwytaka, w celu manipulacji obiektami, wymaga wygenerowania odpowiednich



Rys. 12. Schemat budowy sterownika osi. Na schemacie pominięto elementy związane z drugim silnikiem. SPI – szeregowy interfejs urządzeń peryferyjnych, ADC – przetwornik analogowo cyfrowy, IO – wejścia wyjścia binarne, PWM – modulator szerokości impulsu, QEI – interfejs enkodera kwadraturowego, UART – asynchroniczny interfejs szeregowy, r_m – pozycja zmierzona przez enkoder inkrementalny, r_a – pozycja zmierzona przez enkoder absolutny, τ_m – odkształcenie zmierzone, J_m – prąd zmierzony

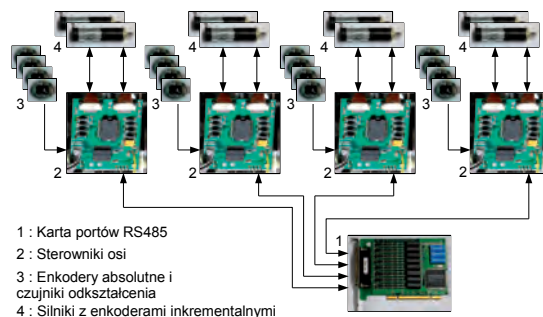
Fig. 12. General structure of axis controller

sygnałów sterujących silnikami elektrycznymi. Sygnały te określone są przez oprogramowanie sterujące.

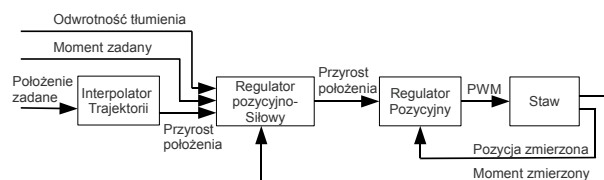
Sterowniki elektroniczne (rys. 12) zostały umieszczone wewnątrz obudowy chwytaka, co jest typowym rozwiązaniem w tego typu konstrukcjach [8]. Z tego powodu położono szczególny nacisk na miniaturyzację całego układu. Głównym elementem sterownika sprzętowego jest mikrokontroler firmy Microchip z rodziny dsPIC33. Układ ten łączy cechy układów DSP z wszechstronnością mikrokontrolerów. Wykorzystany model dsPIC33FJ64MC202 posiada peryferia dedykowane sterowaniu silnikami. Jako wzmacniacz mocy wykorzystano układ L298, scalony podwójny mostek-H. Wybór takiego rozwiązania podyktowany był chęcią minimalizacji wymiarów całego układu oraz wysoką maksymalną częstotliwością pracy wynoszącą 40 kHz.

Sterownik w obrębie jednego obwodu drukowanego zawiera regulatory dla dwóch stopni swobody oraz niezbędne interfejsy do komunikacji z czujnikami umieszczonymi w chwytaku (rys. 13). Enkoder inkrementalny określający r_m wykorzystuje dedykowany interfejs QEI, natomiast enkodery absolutne mierzące położenie stawu r_a oraz odkształcenie podatnego sprzęgła odpowiadające momentowi siły τ_m (w tym przypadku określone jako czujnik odkształcenia) dołączone są do magistrali SPI mikrokontrolera. Natomiast wzmacniacz mocy korzysta z sygnału PWM określającego czas włączenia mostka oraz sygnału kierunku aktywującego odpowiedni pół-mostek. Do pomiaru prądu płynącego przez silnik wykorzystywany jest przetwornik ADC mikrokontrolera. Komunikacja z PC jest realizowana za pomocą magistrali RS-485. Pozwala to na zredukowanie liczby przewodów doprowadzonych do chwytaka, co ułatwia montaż na manipulatorze oraz zwiększa niezawodność. Magistrala pozwala na łatwe dołączenie dodatkowych czujników.

Jeden sterownik osi zawiera: regulator położenia, regulator pozycyjno-siłowy oraz interpolator trajektorii (rys. 14). Regulator położenia jest typu PID, dla którego elementem pomiarowym jest enkoder inkrementalny zamontowany na



Rys. 13. Schemat blokowy układu sterowania chwytakiem
Fig. 13. Block schema of gripper control system



Rys. 14. Struktura regulatora kaskadowego
Fig. 14. Cascade controller structure

wale silnika. Regulator pracuje ze stałym okresem wynoszącym 1 ms.

Regulator pozycyjno-siłowy stanowi zewnętrzną pętlę regulacji. Elementem pomiarowym tego regulatora jest enkoder absolutny mierzący przemieszczenie paliczka względem aktualnej pozycji wału silnika.

3. Podsumowanie

W tej części artykułu przedstawiono konstrukcję mechaniki oraz elektroniki sterującej chwytakiem trójpalczastym. Wprowadzenie podatności mechanicznej z jednoczesnym pomiarem ugięcia paliczka ułatwia sterowanie ruchem palców chwytaka przy ich zaciskaniu na obiekcie.

Część druga artykułu będzie poświęcona zagadnieniom związanym ze sterowaniem ruchem palców, natomiast część trzecia planowaniu chwytów.

Podziękowania

Praca finansowana przez grant Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego N514 1287 33.

Bibliografia

1. Biagiotti, L., Liu, H., Hirzinger, G., Melchiorri, C. (2003): *Cartesian impedance control for dexterous manipulation*. In: Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, (IROS), volume 4, pp. 3270–3275, IEEE.
2. Carbone, G., Ceccarelli, M. (2008): *Design of LARM hand: Problems and solutions*. In: International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, (AQTR), volume 2, pp. 298–303, IEEE.
3. Castellini, C., van der Smagt, P., Sandini, G., Hirzinger, G. (2008): *Surface EMG for force control of mechanical hands*. In: IEEE International Conference on Robotics and Automation, (ICRA), pp. 725–730, IEEE.

4. Iversen, E., Sears, H., Jacobsen, S. (2005): *Artificial arms evolve from robots, or vice versa*. Control Systems Magazine, IEEE 25(1), 16–18.
5. Kaneko, K., Harada, K., Kanehiro, F. (2007): *Development of multi-fingered hand for life-size humanoid robots*. In: IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 913–920, IEEE.
6. Kato, I., Sadamoto, K. (1987): *Mechanical hands illustrated*. Hemisphere Publishing, New York, NY .
7. Lin, L., Huang, H. (1998): *NTU hand: A new design of dexterous hands*. Journal of Mechanical Design 120, 282.
8. Liu, H., Wu, K., Meusel, P., Seitz, N., Hirzinger, G., Jin, M., Liu, Y., Fan, S., Lan, T., Chen, Z. (2008): *Multisensory five-finger dexterous hand: The DLR/HIT Hand II*. In: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, (IROS), pp. 3692–3697, IEEE.
9. Meeussen, W., Wise, M., Glaser, S., Chitta, S., McGann, C., Mihelich, P., Marder-Eppstein, E., Mujja, M., Eruhimov, V., Foote, T., Hsu, J., Rusu, R. B., Marthi, B., Bradski, G., Konolige, K., Gerkey, B. P., Berger, E. (2010): *Autonomous door opening and plugging in with a personal robot*. In: IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 729–736.
10. Nazarczuk, K. (1970): *Teoria sztucznych napędów mięśniowych i jej zastosowanie do syntezy i sterowania biomanipulatorów*. Wydawnictwo PW.
11. Nguyen, H., Kemp, C. (2009): *Bio-inspired assistive robotics: Service dogs as a model for human-robot interaction and mobile manipulation*. In: 2nd IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, BioRob 2008., pp. 542–549.
12. Ott, C., Borst, C., Hillenbrand, U., Brunner, B., Bäuml, B., Hirzinger, G. (2005): *The robutler: Towards service robots for the human environment*. In: Video, IEEE International Conference on Robotics and Automation Video Proceedings.
13. Wimboeck, T., Ott, C., Hirzinger, G. (2007): *Passivity-based object-level impedance control for a multifingered hand*. In: 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 4621–4627, IEEE.
14. Zieliński, C., Szykiewicz, W., Mianowski, K., Rydzewski, A., T. Winiarski (Warszawa, 2006): *Efekторы robota usługowego do dwuręcznej manipulacji z czuciem*. In: Tchoń, K. (Ed.), IX Krajowa Konferencja Robotyki – Postępy Robotyki: Systemy i współdziałanie robotów, volume 2, pp. 257–266, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.
15. Zieliński, C., Szykiewicz, W., Winiarski, T., Czajewski, W., Staniak, M. (2006): *Układanie kostki Rubika jako zadanie testujące zdolności robota usługowego*. In: Tchoń, K. (Ed.), IX Krajowa Konferencja Robotyki – Postępy Robotyki: Systemy i współdziałanie robotów, volume 2, pp. 237–246, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.
16. Zieliński, C., Szykiewicz, W., Winiarski, T., Staniak, M., Czajewski, W., Kornuta, T. (2007a): *Rubik's cube as a benchmark validating MRROC++ as an implementation tool for service robot control systems*. Industrial Robot: An International Journal 34(5), 368–375.
17. Zieliński, C., Winiarski, T., Mianowski, K., Rydzewski, A., Szykiewicz, W. (2007b): *End-Effector Sensors Role in Service Robots*. In: Kozłowski, K. (Ed.), Robot Motion and Control 2007 (LNCiS) Lecture Notes in Control and Information Sciences, pp. 401–413, Springer Verlag London Limited. ■

Multi-fingered gripper for a service robot: hardware design

Abstract: The first part of the paper devoted to the construction, control and motion planning for a three fingered gripper, describes its mechanical design and the electronics controlling the motors propelling the finger phalanges.

Keywords: multi-fingered gripper, robot control, grasp planning

dr inż. Krzysztof Mianowski

Jest adiunktem i nauczycielem akademickim 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: 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, POLMAN – grupy manipulatorów równoległych o sześciu stopniach swobody i rozsprężonej kinematyce, 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 Zabrze i wielu innych.

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

Konrad Banachowicz

Jest studentem Wydziału Elektroniki i Techniki Informatycznych Politechniki Warszawskiej oraz członkiem koła robotyki "Bionik", w ramach którego zajmuje się konstrukcją układów elektronicznych na potrzeby robotów. Współpracuje przy projektach badawczych prowadzonych przez Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej (IAiS) Politechniki Warszawskiej.

e-mail: konradb3@gmail.com



dr inż. Tomasz Winiarski

Jest adiunktem w Instytucie Automatyki i Informatyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej. Sprawuje funkcje kierownika laboratorium robotyki w macierzystym instytucie, a także opiekuna studenckiego koła naukowego Bionik, które współtworzył. W 2010 roku otrzymał za osiągnięcia naukowe nagrodę indywidualną drugiego stopnia rektora PW. Jego zainteresowania badawcze dotyczą z jednej strony konstrukcji i nawigacji robotów mobilnych z drugiej strony specyfikacji zadań manipulatorów i chwytaków ze szczególnym uwzględnieniem sterowania pozycyjno-siłowego.

e-mail: tmwiniarski@gmail.com

**prof. nzw. dr hab. inż. Cezary Zieliński**

Jest profesorem nadzwyczajnym Politechniki Warszawskiej na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych. W latach: 2002-2005 sprawował na tym wydziale funkcję prodziekana ds. nauki i współpracy międzynarodowej, 2005-2008 zastępcy dyrektora Instytutu Automatyki i Informatyki Stosowanej (IAiIS) ds. naukowych, a od 2008 pełni funkcje dyrektora tego instytutu. Od uzyskania habilitacji w roku 1996 pełni rolę kierownika Zespołu Robotyki w IAiIS. Od 2007 roku jest członkiem i sekretarzem Komitetu Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii



Nauk. Od 2008 roku współpracuje z Przemysłowym Instytutem Automatyki i Pomiarów. Jego zainteresowania badawcze koncentrują się na zagadnieniach związanych z programowaniem i sterowaniem robotów.

e-mail: c.zielinski@ia.pw.edu.pl

dr inż. Wojciech Szynkiewicz

Jest adiunktem na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej. W latach 1999-2003 był zastępcą dyrektora i sekretarzem rady naukowej Centrum Automatyki i Technik Decyzyjnych. Jego zainteresowania badawcze dotyczą problematyki planowania ruchu robotów mobilnych i manipulatorów, a także manipulacji robotów.

e-mail: W.Szynkiewicz@elka.pw.edu.pl

**mgr inż. Krzysztof Czajkowski**

W 2010 roku ukończył Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej. Napisał pracę magisterską zatytułowaną: System planowania i realizacji chwytów zapomocą robotycznych rąk. W czasie studiów współpracował przy projektach badawczych prowadzonych przez Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej (IAiIS).

e-mail: k.czajkowski.1@gmail.com



ASTOR

Złote Wzrosty ASTOR 2010 rozdane

5 kwietnia 2011 roku, w warszawskiej siedzibie Business Centre Club odbyło się uroczyste spotkanie Partnerów firmy ASTOR. Podczas gali wręczono nagrody za najlepsze wyniki finansowe w minionym roku – Złote Wzrosty ASTOR, oraz przyznano Certyfikaty Partnerstwa na rok 2011.

W tym roku Certyfikaty Partnerstwa ASTOR przyznano 83 firmom w Polsce, w tym 33 firmy otrzymały tytuł Złotego Partnera ASTOR, 40 – Srebrnego, a 15 – Platynowego.

Tytuły te przyznawane są corocznie, na podstawie listy kompetencji kandydujących firm, weryfikowanej przez Komisję Certyfikacyjną firmy ASTOR. Certyfikat, poświadczający otrzymanie tytułu na dany rok, określa zakres specjalizacji integratora w poszczególnych kategoriach produktowych z oferty firmy ASTOR. Aby uzyskać wybraną specjalizację w ramach certyfikatu, firma integratorska, oprócz podstawowych wymagań związanych z danym poziomem certyfikacji, powinna spełnić kryteria specyficzne dla danej specjalizacji. Z każdą ze specjalizacji wiąże się dodatkowe korzyści.

Reprezentanci firm partnerskich, które w ubiegłym roku osiągnęły najwyższy, w wieloletniej historii swoich kontaktów handlowych, poziom zakupów w firmie ASTOR, otrzymali z rąk Stefana Życzkowskiego statuetki

Złotych Wzrostów. Nagrody "Złoty Wzrost ASTOR" przyznawane są corocznie od 2007 roku. Jednym z kryteriów przyznania nagrody jest nieprzerwany staż partnerstwa (ponad 2 lata).

ASTOR przywiązuje szczególną uwagę do współpracy z przedsiębiorstwami wdrażającymi systemy automatyki w oparciu o produkty z oferty firmy (integratorami systemów automatyki). Specjaliści z firmy ASTOR dzielą się z integratorami wiedzą i doświadczeniem, wspierając ich we wdrażaniu oferowanych produktów. Dzięki temu późniejszy użytkownik uzyskuje maksimum korzyści z funkcjonowania systemu. W celu promocji firm wdrażających systemy automatyki i ułatwienia nabywcom trafnego wyboru integratora, od 2002 roku prowadzony jest program certyfikacji współpracujących z ASTOR-em firm.

Więcej informacji o programie certyfikacji wraz z pełną listą Partnerów na stronie internetowej www.astor.com.pl. ■