

Chwytnak o stałoorientacyjnym prostoliniowym ruchu szczęk

Krzysztof Mianowski

Konstrukcja chwytnaka zapewnia korzystną zmienność charakterystyki siły wywieranej na obiekt – zależną od wartości rozwarcia chwytnaka – związanej z wymiarami obiektu manipulowanego.

Współczesne roboty, jako urządzenia adaptacyjne, w celu obsługi coraz szerszych zakresów zadań wymagają stosowania coraz większego asortymentu sensorów do zbierania informacji o otoczeniu. Zadanie manipulacji dwuręcznej – typowe dla człowieka – powierzone robotom wymaga dostosowania robota i jego środowiska, tak aby był on nie tylko zdolny zastąpić człowieka w wykonywaniu określonych czynności manualnych, ale aby realizował tę pracę szybciej, dokładniej i precyzyjniej. Takie są przynajmniej nasze oczekiwania [1].

Człowiek wykonując prace manualne, posługuje się swoimi rękami oraz różnego rodzaju narzędziami prostymi. Manipulacja dwuręczna wymaga koordynacji wzrokowo-ruchowej, a pewne typy prac są wykonywane w sposób intuicyjny, np. po krótkim treningu. Takie prace obsługiwane przez robota wymagają zastosowania oprzyrządowania, w tym chwytnaków o specjalnej konstrukcji oraz odpowiedniej organizacji stanowiska roboczego [5, 6, 7].

Zadaniem chwytnaka jest – po doprowadzeniu końcówki manipulatora robota do odpowiedniej pozycji – bezpieczne uchwycenie przedmiotu, utrzymanie go przez cały okres realizacji trajektorii i bezpieczne uwolnienie go w miejscu przeznaczenia. Ważnym czynnikiem jest prawidłowe uchwycenie przedmiotu, często zależne od wielu czynników [3]. Realizację tych samych zadań kinematycznych można zapewnić mechanizmami różnych typów (krzywkowe, dźwigniowe, cięgnowe, zębate czy też kombinowane) [4].

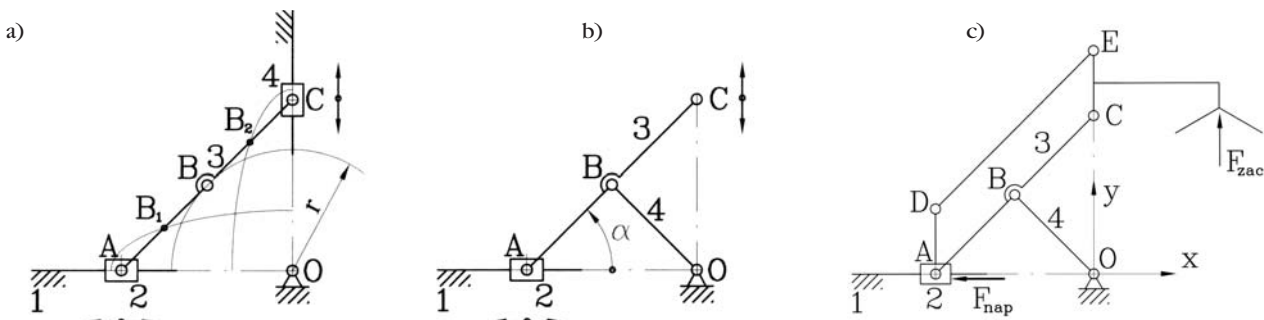
W procesie projektowania mechanizmu chwytnaka uwzględniono następujące etapy:

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

Koncepcja i charakterystyki statyczne chwytnaka

W rozwiązaniu konstrukcyjnym chwytnaka zastosowano mechanizm zamykający zaproponowany w [4], stosowany w konstrukcjach elipsografów. Na rys. 1c pokazano zasadę budowy mechanizmu ruchu pojedynczej szczęki chwytnaka. W konstrukcji wykorzystano połączenie mechanizmu takiego prostowodu z rys. 1b i płaskiego równoległowodu z parami obrotowymi.

Mechanizm elipsografu pokazany na rys. 1a składa się z dwóch suwaków 2 i 4 poruszających się po prowadnicach wzajemnie prostopadłych, których linie kierunków działania przechodzące przez osie A i C przecinają się w punkcie O. Suwaki są połączone łącznikiem 3, którego długość AC (przeciwprostokątna AO i OC) jest równa sumie długości obu półosi kreślonej elipsy. Na rys. 1a pokazano przykładowe czwarte części elipsy dla punktów kreślących B_1 , B i B_2 . Punkt B leży w połowie długości odcinka AC, więc zakreśla okrąg o środku w punkcie O. Jeśli w punkcie B z łącznikiem 3 połączymy obrotowo korbę o długości $r = AB$ zamocowaną obrotowo w punkcie O na podstawie, to można wyeli-



Rys. 1. Zasada działania mechanizmu zamykania szczęki chwytnaka: a) mechanizm elipsografu o prowadnicach prostokątnych, b) mechanizm prostowodu tangensowego, c) mechanizm równoległowodu prostowodowego wg b)

minować suwak na prowadnicy pionowej, przy czym punkt C będzie nadal realizował ruch po linii prostej pionowej, jak pokazano na rys. 1b. Do tak rozwiązanego prostowodu dołączono równoległowod płaski równoległobokowy $AD = CE$ i $DE = AC = 2r$ pokazany na rys. 1c. Napęd szczęki przesuwającej się w kierunku pionowym ze stałą orientacją kątową, związanej z odcinkiem CE jest realizowany przez poziomy przesuw suwaka 2. Stosując oznaczenia jak na rysunku, mamy:

$$\frac{y_C}{x_A} = \frac{OC}{OA} = \operatorname{tg}\alpha \quad (1)$$

Charakterystyka statyczna siły zaciskania szczęki F_{zac} (oddziaływania szczęki na obiekt w kierunku pionowym) w funkcji siły napędowej F_{nap} suwaka 2 przy braku sił tarcia jest określona zależnością wynikającą z zasady prac przygotowanych:

$$F_{zac} dy_C = F_{nap} dx_A \quad (2)$$

stąd:

$$F_{zac} = F_{nap} \frac{dx_A}{dy_C} = F_{nap} \operatorname{tg}\alpha = F_{nap} \frac{y_C}{x_A} = F_{nap} \frac{y_C}{\sqrt{4r^2 - y_C^2}} \quad (3)$$

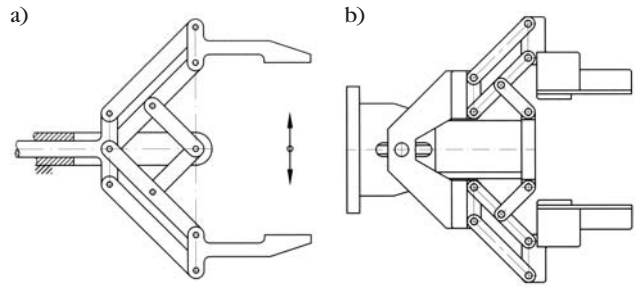
Na podstawie tych zależności z uwzględnieniem właściwości układu napędowego oraz przy założonych granicznych wymiarach obiektów manipulowanych opracowano charakterystyki kinematyczne i statyczne chwytaka (rys. 2).

Jak widać z zależności (3) i wykresu na rys. 2c siła zacisku szczęki wzrasta ze wzrostem rozwarcia chwytaka, co ma duże znaczenie praktyczne, gdyż jak wiadomo przy regularnych kształtach obiektów masa rośnie z trzecią potęgą wymiarów liniowych.

Do napędu chwytaka zastosowano przekładnię śrubową oraz miniaturowe silniki z przekładniami zębatymi firmy MAXON. Przedstawione na rys. 2 charakterystyki graniczne uwzględniają właściwości całego układu napędowego [2].

Na rys. 3a pokazano podstawową koncepcję wyjściową opracowanego chwytaka. Prowadnicę liniową poziomą stanowi tutaj tuleja z popychaczem wewnętrznym przekazującym napęd do mechanizmu chwytaka.

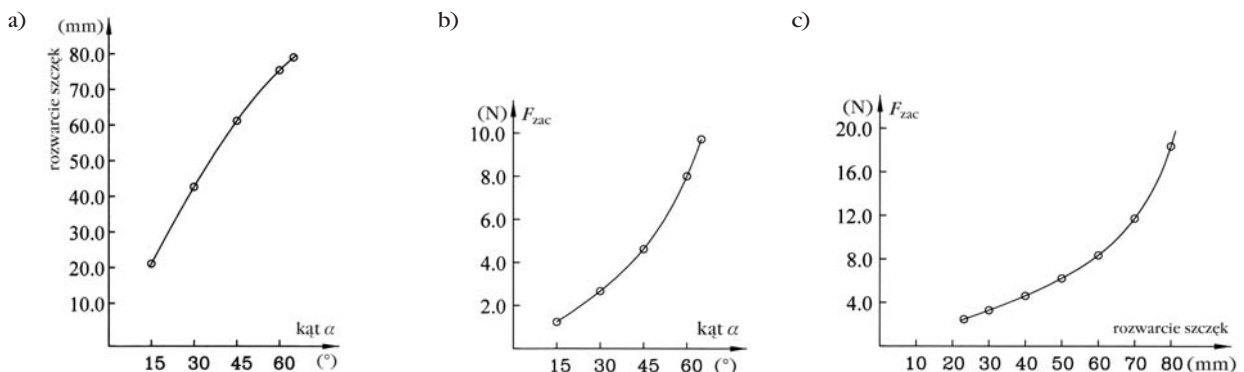
Projektowany chwytak ma być przeznaczony do manipulacji kostką Rubika z możliwością oglądu pola operacyjnego, co wymaga wmontowania w chwytak kamery CCD w osi wzdłużnej chwytaka. Dlatego element prowadzący równoległowod płaskie szczęk rozdzielono na dwie części, oddzielne dla każdej szczęki, jak pokazano na rys. 3b; prowadnicę liniową stanowią tu ślizgacze teflonowe przesuwające się po zewnętrznej powierzchni korpusu chwytaka. Zakres kątowy α ruchu łączników każdej ze szczęk ograniczono konstrukcyjnie do przedziału kąta $\langle 30^\circ, 65^\circ \rangle$. Charakterystyki pokazane na rys. 2 również dotyczą tego przedziału.



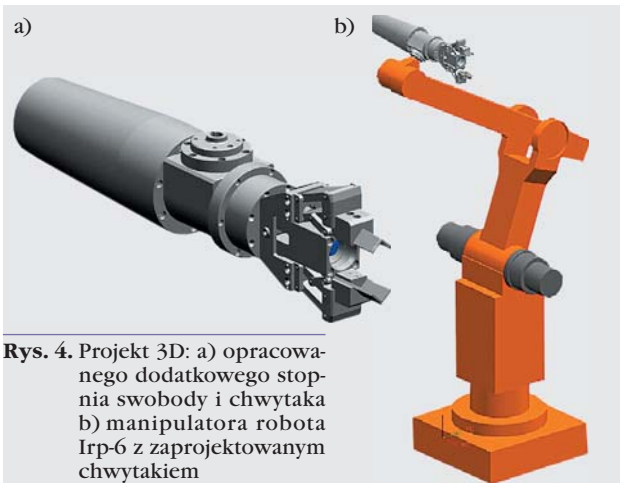
Rys. 3. Chwytak o prostoliniowym stałorientacyjnym ruchu szczęk: a) wyjściowa koncepcja ogólna b) projekt z centralnym gniazdem dla kamery CCD

Projekt konstrukcji chwytaka

Projekt konstrukcji opracowano z wykorzystaniem programu NX3. 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, już na etapie opracowania projektu było możliwe najbardziej racjonalne rozmieszczenie poszczególnych elementów składowych, a zatem minimalizacja obszaru przestrzeni zajmowanej przez projektowany zespół. Zwłaszcza umieszczenie silnika napędowego i jego dodatkowej przekładni zdawczej oraz rozmieszczenie dodatkowego wyposażenia jak: mikrowyłączniki krańcowe i synchronizacyjne, okablowanie, łączówki elektryczne, wewnętrzny oświetlacz kamery, czujniki dotyku w szczękach i obsługujące je układy elektroniczne a także mikrokomputer



Rys. 2. Charakterystyki chwytaka: a), b) kinematyczne; c) statyczna



Rys. 4. Projekt 3D: a) opracowanego dodatkowego stopnia swobody i chwytaka b) manipulatora robota Irp-6 z zaprojektowanym chwytakiem

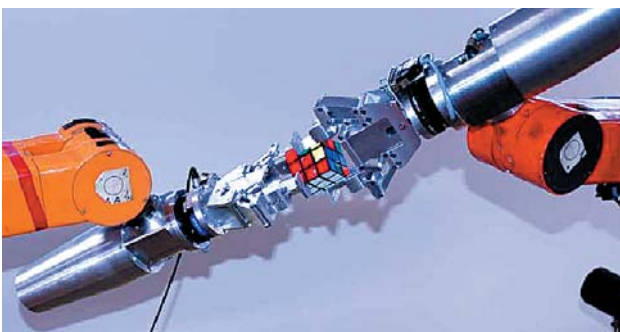
podkładowy zapewniły bardzo estetyczne zintegrowanie z konstrukcją chwytaka, tworząc kompaktową konstrukcję mechatroniczną.

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.

Na rys. 4a pokazano model geometryczny chwytaka w widoku ogólnym, a na rys. 4b model manipulatora Irp-6 z zamontowanym chwytakiem, opracowane w NX3.

Prototypy

Na podstawie zaprezentowanego projektu wykonano dwa prototypy chwytaków. Aby dwa roboty mogły manipulować kostką Rubika, roboty wyposażono w dodatkowe mechanizmy szóstych stopni swobody – obrotu chwytaka względem osi prostopadłej do piątej osi robota Irp-6, również własnej konstrukcji. Układ napędowy obrotu szóstego stopnia swobody, tj. obrotu chwytaka umieszczono w ten sposób, że stanowi przeciwwagę dla chwytaka. Między kołnierzem szóstego stopnia swobody a chwytakiem wbudowano czujnik siły o sześciu składowych. Roboty znajdują się w Labo-



Rys. 5. Roboty Irp-6 wyposażone w dodatkowe stopnie swobody i chwytaki własnej konstrukcji służącymi do manipulacji dwuręcznej

ratorium Robotyki Instytutu Automatyki Politechniki Warszawskiej. Opracowane rozwiązanie pokazano na rys. 5. Badania wstępne wykazały prawidłowość przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych i poprawną pracę zarówno nowych układów mechanicznych i napędowych, jak i robotów we współpracy manipulowania kostką Rubika. Aktualnie roboty są intensywnie wykorzystywane w ramach prac w projekcie nad sterowaniem robotami usługowymi.

Podsumowanie i wnioski

W ramach projektu opracowano nowe rozwiązania: dodatkowego, szóstego stopnia swobody dla manipulatora robota Irp-6 oraz chwytaków specjalnych do manipulacji dwuręcznej, w szczególności przeznaczonych do manipulacji kostką Rubika.

W konstrukcji chwytaka zapewniono możliwość zabudowania kamery CCD w jego osi wzdłużnej wewnątrz specjalnej wnęki w ten sposób, aby na obrazie była widoczna sytuacja zbliżania się do przedmiotu manipulowanego oraz jego stan podczas chwytania. We wnęce tej znajduje się też oświetlacz pola obserwowanego przez kamerę, będący zespołem diod świecących usytuowanych wokół kamery w jej tylnej części. Szczęki chwytaka są wyposażone w rezystancyjne czujniki pomiaru siły nacisku – po 4 na każdą szczękę.

Praca powstała w ramach grantu MNiI Nr 4T11A 003 25 kierowanego przez prof. C. Zielińskiego z Instytutu Automatyki Politechniki Warszawskiej.

Bibliografia

1. K. Mianowski, *POMAN Parallel manipulator – from analysis of the manipulation problem to modern construction of the robot*, Proc. of 10th Int Workshop on Robotics, TU Wien 2001.
2. K. Mianowski, K. Nazarczuk, T. Słomkowski, *Dynamic model for the selection of servomotors in serial-parallel manipulator*, Int. Conf. CIM, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Mechanika, z. 108, s. 261–268, Gliwice 1992.
3. A. Morecki, *Podstawy robotyki, teoria i elementy manipulatorów i robotów*, WNT Warszawa 1999, Wyd. III.
4. A. Ołędzki, *Podstawy teorii maszyn i mechanizmów*, WNT Warszawa, 1987.
5. W. Szykiewicz, *Planowanie manipulacji dwuręcznej. Postępy robotyki, Sterowanie z percepcją otoczenia*, pod red. K. Tchonia, WKŁ, Warszawa 2005, s. 187–196.
6. C. Zieliński, W. Szykiewicz, K. Mianowski, K. Nazarczuk, *Mechatronic design of open-structure multi-robot controllers*, Mechatronics, 11(8), 2001, s. 987–1000.
7. C. Zieliński, W. Szykiewicz, K. Mianowski, A. Rydzewski, T. Winiarski, *Efektory robota usługowego do dwuręcznej manipulacji z czuciem*, referat zgłoszony na Krajową Konferencję Robotyki 2006. ■