

Jan BARCZYK

POLITECHNIKA WARSZAWSKA
INSTYTUT AUTOMATYKI I ROBOTYKI

Określenie położenia równowagi obiektu w chwytaku wielocłonowym

Dr inż. Jan Barczyk

adiunkt w Instytucie Automatyki i Robotyki Politechniki Warszawskiej, absolwent Wydziału Mechaniki Precyzyjnej PW w 1964 r. Po praktyce przemysłowej podjął w 1969 roku pracę w Politechnice Warszawskiej. W roku 1977 uzyskał stopień doktora nauk technicznych. Autor i współautor ponad 50 publikacji z zakresu robotyki, w szczególności dotyczących urządzeń chwytających. Członek zespołu redakcyjnego PAR. Jest sekretarzem Komitetu Robotyki POLSPAR.



Streszczenie

Określono położenie równowagi obiektu w chwytaku wielocłonowym przy braku sił zewnętrznych, natomiast z uwzględnieniem sił tarcia w punktach styku obiektu z końcówkami oraz z podłożem. Końcowe położenie równowagi określono dla sytuacji, w której końcówki dociskają obiekt do powierzchni bazowej. W celu określenia charakteru zjawisk zachodzących podczas chwytania przeprowadzono doświadczenia z chwytakiem wielocłonowym i obiektami o prostych kształtach geometrycznych. Opracowano program komputerowej wizualizacji procesu chwytania obiektów o przekroju kołowym i prostokątnych chwytakiem wielocłonowym.

Abstract

The subject of the presented paper are questions related to the gripping of manipulated objects and algorithm of grasping process. Here is a look at selected theoretical issues concerning the grasping process, as well as questions of the structural design and applications of the gripping mechanisms of industrial robots. The assumptions, input parameters and designed objective of the grasping process are included. Also described here is analysis of manipulated objects having circular cross-sections that are handled by a three-digit gripping mechanism.

O chwytaniu

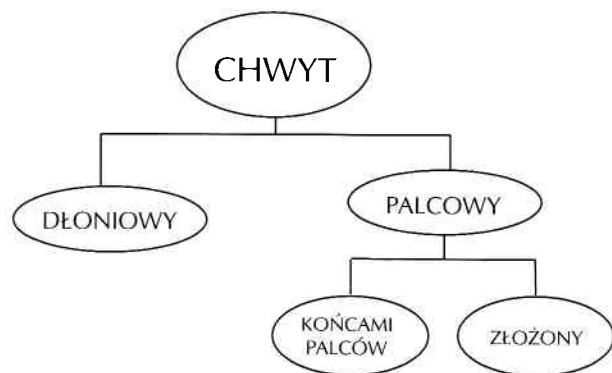
Chwytnie jest czynnością niezbędną do zachowania prawidłowego przebiegu procesów życiowych. Wszelkie zakłócenia możliwości chwytania, jakiegokolwiek ograniczenia chwytania, wprowadzają ograniczenia, a często prowadzą wprost do zaniku życia. W naturze następuje bezwzględna selekcja – giną te organizmy, które nie potrafią chwycić, wegetują te, których możliwości chwytania są ograniczone. Żaden organizm żywy, także człowiek, nie rodzi się przygotowany do chwytania, ale niemowlęta tuż po urodzeniu potrafią zacisnąć swoją małą dłoń na palcu matki oraz rodzą się z instynktem ssania, chwytając ustami pierś matki. Niemowlęta wykonują wiele nieskoordynowanych ruchów palcami i w pierwszym etapie rozwoju rodzice uczą dzieci między innymi jak chwycić – jak trzymać kubek z napojem a jak ołówek podczas rysowania, jak łapać piłkę...

Chwytnie należy do tego typu czynności człowieka, które wykonywane są codziennie, od najmłodszych lat do późnej starości i realizowane są najczęściej bez zaangażowania świadomości człowieka; to znaczy nie zastanawiamy się w jaki sposób chwycić długopis, jak podnieść garnek, jak łapać ruchome obiekty itp... Tego typu zadania wykonujemy instynktownie, bazując na wieloletnich doświadczeniach. Chwytnie uczymy się bowiem tak samo jak np. chodzenia, chociaż efekty tej nauki nie są tak wyraźnie dostrzegalne przez obserwatorów. Nauka chwytania wcale nie jest łatwiejsza niż nauka chodzenia, co wyraźnie

można zauważyć wśród dzieci już biegających, ale wciąż jeszcze nie umiejących prawidłowo trzymać przyrządów do pisania, mających kłopoty z chwytaniem poruszających się przedmiotów itp.

Ludzka dłoń jest precyzyjnym urządzeniem o wielkim stopniu wyspecjalizowania, zbudowanym z kości, stawów, mięśni, skóry, elementów dotykowych i innych, skondensowanych w jednostce ważącej mniej niż 0,5 kg. Za pomocą tego niebywałego narzędzia jesteśmy w stanie realizować różnorodne decyzje mózgu, wymagające zarówno szybkości, delikatności i precyzji koncertującego skrzypka jak i dużej siły, niezawodności i stabilności uchwycenia pracującego młotem kowala lub siekierą drwała.

Nie zaproponowano dotychczas jednoznacznego opisu sposobów chwytania [1]. Najbardziej ogólny podział wyróżnia chwyt dłoniowy oraz chwyt palcowy (rys.1). Chwyt dłoniowy polega na takim uchwyceniu przedmiotu, że jest wykorzystywana wewnętrzna powierzchnia dłoni. Natomiast chwyt palcowy obejmuje wszystkie te przypadki, w których zaangażowane są tylko palce (jeden lub kilka) oraz kciuk.



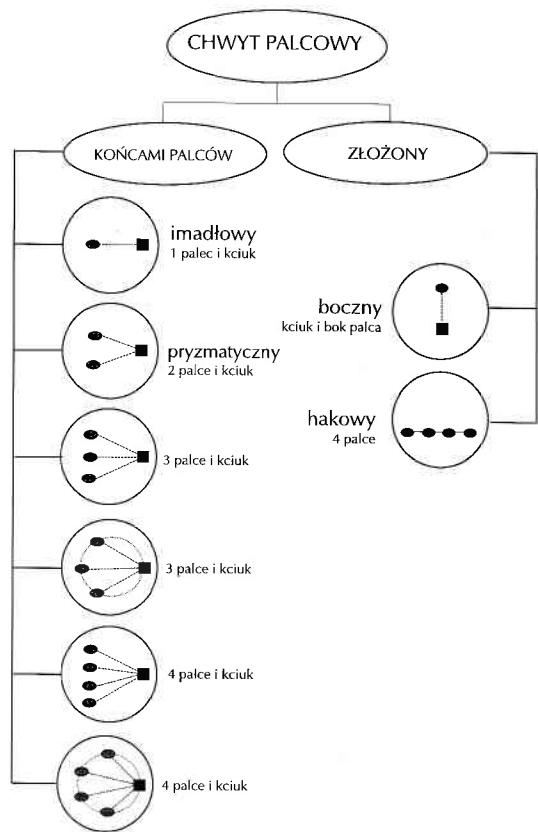
Rys. 1. W chwytaniu może brać udział cała dłoń (chwyt dłoniowy) albo tylko same palce (chwyt palcowy)

Charakterystycznymi sposobami chwytania dla chwytaku dłoniowego są:

- chwyt sferyczny, w którym wszystkie palce ułożone są sferycznie na powierzchni chwytanego obiektu, stosowany przy chwytaniu przedmiotów o powierzchni kulistej, (tak trzymamy na przykład piłkę tenisową);
- chwyt cylindryczny, polegający na zacisku czterech palców i kciuka na przedmiocie – stosowany przy chwytaniu przedmiotów o cylindrycznym kształcie, (tak trzymamy na przykład trzonek młotka); występuje kilka odmian tego typu chwytu w zależności od siły jaką zamierzamy wywrzeć na uchwycony przedmiot – jeżeli mocno trzymamy trzonek młotka, to kciuk zaciska się na członku, ale jeżeli trzymamy się drążka albo obejmujemy rulon papieru, to kciuk może przyjmować różne pozycje.

Specyficzne dla palcowego sposobu chwytania są (rys.2):

- chwyt imadłowy, w którym biorą udział dwa palce, polegający na zwarciu kciuka i jednego z palców (zwykle wskazującego lub serdecznego), chwyt końcami palców jest stosowany podczas chwytania raczej małych i lekkich przedmiotów (zauważmy, że mogą to być także przedmioty o kształcie kuli i krążka) – czasem przy pobieraniu bardzo małych przedmiotów (igła, drobna moneta) wykorzystuje się przy realizacji tego chwytu również paznokcie;
- chwyt pryzmatyczny, polegający na zacisku dwóch palców (najczęściej wskazującego i serdecznego) i kciuka na przedmiocie – stosowany do chwytania drobnych przedmiotów, np. ołówka;
- chwyt trzema palcami i kciukiem, z dwiema odmianami – palce ustawione w linii i palce rozstawione po obwodzie okręgu (kuli);
- chwyt czterema palcami i kciukiem, z dwiema odmianami – palce ustawione w linii i palce rozstawione po obwodzie okręgu (kuli).



Rys. 2. Przykłady możliwości chwytania palcami

Złożonymi postaciami chwytania palcowego są:

- chwyt płaski (boczny), w którym palce ściskają przedmiot o dwóch równoległych płaszczyznach – uchwyt ten realizowany jest zwykle przez zacisk na przedmiocie kciuka i palca wskazującego (często wykorzystuje się powierzchnię boczną tego palca); tak na przykład chwytamy klucz przed włożeniem go do zamka;
- chwyt hakowy (zaczepowy), w którym palce (oprócz kciuka) zaczepiają o krawędź lub inny wystający fragment przedmiotu – najczęściej wykorzystywane są wszystkie palce, ale chwyt może być wykonany jednym palcem.

Jednak, ze względu na niejednoznaczność kryteriów klasyfikacji sposobów chwytania, spotyka się również inne podziały [2], np. wydziela się tylko trzy podstawowe rodzaje chwytu (rys. 3):

- zaciskanie, w którym uczestniczą najczęściej dwa palce, a odpowiednikiem technicznym jest imadło,
- zwieranie, w którym zwykle biorą udział trzy palce dłoni, a odpowiednikiem maszynowym jest uchwyt tokarski,
- obejmujące, realizowane najczęściej wszystkimi palcami dłoni, obejmującymi obiekty kubiczne, a odpowiednikiem może być np. czerpak koparki.



Rys. 3. Ten sam sposób uchwycenia można sklasyfikować w różnych grupach, zależnie od przyjętych kryteriów klasyfikacji

W praktyce wybór sposobu chwytania jest w mniejszym stopniu podyktowany rozmiarami i kształtem obiektu, niż zadaniami, które należy zrealizować. Nawet w czasie realizacji jednego zadania, z jednym obiektem, człowiek wybiera różne sposoby uchwycenia, aby dostosować się do zmiennych sił i momentów. Klasyfikacja sposobów chwytania ze względu na realizowane zadania obejmuje dwie podstawowe grupy:

- 1) chwytanie siłowe, stosowane w tych przypadkach, gdy przeważają wymagania niezawodności i stabilności uchwycenia,
- 2) chwytanie precyzyjne (dokładnościowe), używane tam, gdzie dominują wymagania zręczności i delikatności.

Dokładnościowe sposoby chwytania realizowane są koniuzkami palców i kciukiem – w zależności od kształtu i wymiaru obiektu w precyzyjnym chwytaniu uczestniczy kciuk oraz jeden, dwa, trzy lub cztery palce. Siłowe sposoby chwytania wyróżniają się dużymi fragmentami styku między chwytanym obiektem a powierzchnią palców i dłoni – najczęściej uczestniczą wszystkie palce i dłoń człowieka, oprócz tych przypadków gdy wystarczy podtrzymanie obiektu. Chwytanie siłowe jest bardziej stabilne niż chwytanie precyzyjne, jest odporne na poślizgi obiektu między palcami. Sferyczny sposób chwytania realizowany być może zarówno siłowo jak i precyzyjnie, tak jest na przykład w przypadku odkręcania pokrętła kranu do wody, gdy początkowo należy wyrzucić dużą siłę a później precyzyjnie obracać, nastawiając żądaną temperaturę wody.

Stabilne położenie obiektu w dłoni osiągnąć może we wszystkich sposobach chwytania – jest to możliwe nie tylko ze względu na wywieranie odpowiedniej siły przez poszczególne palce dłoni, ale także dzięki właściwościom tkanki miękkiej palca [3].

Chwytanie maszynowe

Chwytaniem maszynowym nazywa się taki proces, w wyniku którego element aktywny (chwytak) i element bierny (obiekt

manipulacji) zostają połączone (obiekt zostaje unieruchomiony w chwytaku), a następnie rozdzielone. Chwywanie jest złożonym procesem, łączącym w sobie zagadnienia geometrii, kinematyki oraz dynamiki; aby więc zaprogramować robota realizującego proces maszynowego chwytania należy stworzyć kilka modeli, m.in.:

- geometrycznego, definiującego powierzchnie, linie i punkty elementów obiektu i chwytaka, które mają być połączone,
- kinematycznego, opisującego ruchy obiektu i chwytaka w różnych układach odniesienia,
- dynamicznego, przedstawiającego siły i momenty działające w układzie związanym z procesem oraz w jego otoczeniu,
- operacyjnego, zawierającego kolejność procedur w procesie chwytania.

Chwywanie maszynowe, realizowane przez robota, nie zostanie prawidłowo wykonane, jeżeli obiekt znajduje się w zbyt dużej odległości od końcówek chwytanych; w tej sytuacji nie dochodzi do uchwycenia obiektu, albo zostaje on uchwycony nieprawidłowo, co może mieć wpływ na dalszy przebieg cyklu pracy (np. wysunięcie lub wypadnięcie obiektu w trakcie przemieszczania, albo nieprawidłowe ustawienie obiektu w miejscu docelowym). Z tego względu korzystne jest przeprowadzenie analizy geometrycznej i siłowej umożliwiającej:

- wybranie najlepszego wariantu konfiguracji chwytaka i obiektu, np. orientacji końcówek chwytanych względem obiektu, położenia obiektu,
- określenie wymaganych wartości sił i momentów sił oraz ograniczeń co do wartości przyspieszeń,
- sformułowanie warunków zapewniających ochronę trwałości i jakości powierzchni obiektu oraz końcówek chwytanych.

Proces chwytania składa się z kilku etapów, różniących się liczbą oraz rozmieszczeniem punktów styku obiektu z końcówkami chwytanymi. W pierwszym etapie pojawia się jeden punkt styku, a następnie (wskutek oddziaływania końcówek chwytanych i względnego przemieszczenia obiektu) pojawiają się kolejne punkty, linie lub powierzchnie styku. W najkorzystniejszym przypadku proces chwytania kończy się z chwilą, gdy obiekt osiąga trwałe położenie optymalne, charakteryzujące się istnieniem wszystkich założonych punktów styku. Efektywność i precyzja procesu chwytania mogą być znacznie poprawione przez zastosowanie w chwytaku urządzeń sensorycznych.

Rozwój konstrukcji urządzeń chwytających dla robotów przebiegał dotychczas raczej w kierunku ich specjalizacji (przystosowania do konkretnego zadania) niż w kierunku ich uniwersalności. Chwywak uniwersalny powinien umożliwić chwywanie obiektów o różnych kształtach i wymiarach, a jego siła chwytu powinna być dobierana automatycznie w zależności od masy obiektu, struktury jego powierzchni oraz od przewidywanych parametrów ruchu. Prace badawcze nad budową chwytaków uniwersalnych prowadzone są w trzech kierunkach:

- tworzenia konstrukcji na wzór dłoni, proponowane rozwiązania zawierają końcówki chwytne składające się z kilku członów,
- opracowania konstrukcji wieloczłonowych końcówek, które opasują obiekt manipulacji podczas chwytania,
- proponowania nietypowych konstrukcji przestrzennych.

Naturalnym wzorem do naśladowania jest ludzka dłoń, charakteryzująca się dużą elastycznością oraz zdolnością dopasowania się do kształtu obiektów, mogąca realizować wiele typów chwytania oraz zmieniać siłę chwytu. W wyniku badań dotyczących funkcjonowania dłoni stwierdzono, że przy chwytaniu znaczenie poszczególnych palców nie jest jednakowe -

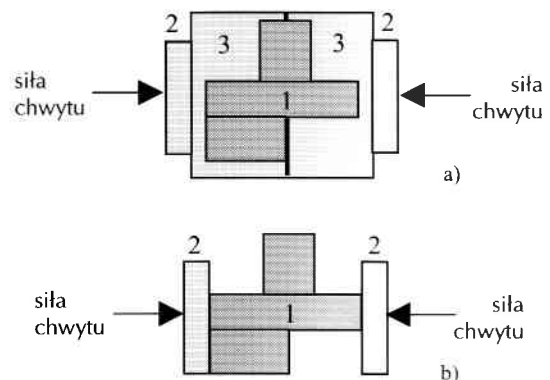
kciuk, palec wskazujący i palec środkowy są wykorzystywane mniej więcej w jednakowym stopniu, natomiast znaczenie dwóch pozostałych jest o około 50% mniejsze. W wielu ośrodkach naukowych [4, 5, 6, 9] prowadzone są prace nad budową chwytaków uniwersalnych zawierających różną liczbę palców, składających się z różnej liczby członów, z czujnikami położenia, dotyku, siły itp. W ostatnich latach dokonano znaczącego postępu w budowie chwytaków dla robotów - zbudowano wiele skomplikowanych urządzeń chwytających, w tym także chwytaków wielopalcowych (dłoniopodobnych).

Warunki uchwycenia obiektu

- Prawidłowe uchwycenie obiektu manipulacji zależne jest od:
- sposobu unieruchomienia obiektu w chwytaku,
 - parametrów obiektu manipulacji,
 - warunków dynamicznych procesu manipulacji.

Urządzenie chwytające jest tym zespołem robota przemysłowego, które bezpośrednio oddziałuje na obiekt manipulacji i powoduje jego unieruchomienie względem elementów chwytanych tych urządzeń. Pozbawienie obiektu możliwości przemieszczania się względem urządzenia chwytającego jest niezbędne do prawidłowego zrealizowania założonego procesu manipulacji. Chwywak powinien ograniczyć swobodę ruchu obiektu w sześciu kierunkach: wzdłuż trzech osi układu prostokątnego oraz wokół nich. To unieruchomienie realizowane może być dwoma sposobami (rys. 4):

- 1) przez wytworzenie pola sił działających na obiekt manipulacji (chwytanie siłowe),
- 2) przez odjęcie obiektom sześciu stopni swobody (chwytanie kształtowe).



Rys. 4. Sposoby chwytania: a) kształtowe, b) siłowe: 1 - obiekt, 2 - końcówki chwytne, 3 - nasadki kształtowe

Oba sposoby oddziaływania na obiekt manipulacji powinny być na tyle skuteczne, aby w czasie wykonywania założonych czynności nie zmienił on swego położenia względem chwytaka (tzn. nie wysunął się z końcówek chwytanych, nie zmienił swego ukierunkowania). W praktyce przemysłowej stosuje się zwykle chwytanie siłowo-kształtowe, w którym końcówki chwytne swoim kształtem częściowo ograniczają swobodę przemieszczania się obiektu, a jednocześnie wywierają na ten obiekt siły, uniemożliwiając mu przemieszczenie.

Na warunki uchwycenia mają wpływ takie parametry obiektu manipulacji, jak: kształt i wymiary, masa, położenie środka ciężkości, moment bezwładności, rodzaj materiału, odporność na zewnętrzne naprężenia, tolerancja wykonania i gładkość powierzchni itp. Zależności między parametrami obiektu a

parametrami chwytaka są wzajemnie powiązane, gdyż np. na prawidłowe uchwycenie określonej masy ma wpływ rodzaj napędu (m.in. niezbędna jest odpowiednia wartość siły chwytnej) a także system przemieszczania się końcówek chwytanych, sposób ich zatrzymywania, a nawet zastosowanie odpowiednich czujników. Niedokładność wzajemnego początkowego ustawienia obiektu i chwytaka może spowodować podczas chwytania pojawienie się niepożądanych obciążeń, które przejmowane są przez manipulator oraz urządzenia współpracujące.

Złożony kształt obiektu uniemożliwia często dokonanie wyboru miejsca uchwycenia. Rzeczywiste warunki uchwycenia zależne są również od rodzaju kontaktu obiektu z końcówkami chwytającymi, a więc od kształtu obiektu w miejscu uchwycenia. Przy analizowaniu tego problemu wyróżniono typowe kształty geometryczne pola przekroju obiektu w punkcie uchwycenia: owal, prostokąt, trójkąt – najczęściej występują przekroje typu kołowego (owalnego). W przypadku wyposażenia chwytaka w dwie końcówki chwytne o płaskich powierzchniach mogą zachodzić następujące rodzaje kontaktu:

- styk punktowy (płaszczyzna – powierzchnia wypukła i płaszczyzna - ostrze),
- styk liniowy (płaszczyzna - powierzchnia owalna i płaszczyzna - krawędź),
- styk powierzchniowy (płaszczyzna - płaszczyzna). Tylko w szczególnych przypadkach wymienione wyżej rodzaje styku stwarzają możliwość unieruchomienia obiektu w chwytaku. Z tego względu w praktycznych zastosowaniach wykorzystuje się nasadki na końcówki chwytne, zapewniające styk wielopunktowy (np. z nacięciem moletowym lub typu kształtowego).

W większości współczesnych zastosowań ramię robota jest wyposażone w chwytak z dwoma końcówkami. Takie chwytaki stwarzają jednak wiele ograniczeń, polegających między innymi na:

- niemożliwość uchwycenia obiektów o złożonych kształtach, (uchwycenie niepewne albo niedokładne obiektów o nierównej powierzchni),
- niemożliwość zmiany orientacji uchwyconego obiektu (konieczne jest poruszenie całym ramieniem, co jest czasochłonne),
- niemożliwość określenia podstawowych właściwości uchwyconego obiektu, takich jak: struktura powierzchni (człowiek bez użycia wzroku może pozyskiwać wiele informacji o obiekcie delikatnie poruszając nim w dłoni).

Te ograniczenia powodują, że nie można jeszcze stosować robotów tam, gdzie wymagana jest zręczność i możliwość czucia ludzkiej dłoni. Dlatego też dalszy rozwój chwytaków przebiegać będzie w kierunku budowy chwytaków dłoniopodobnych.

Chwytaki wielocłonowe

Opracowano kilkanaście rozwiązań konstrukcyjnych chwytaków zawierających 3 lub 4 palce, z których każdy ma od 1 do 4 ruchomych członów i dalej prowadzone są prace badawcze w tym kierunku. W wielu laboratoriach badawczych, w szczególności w Japonii i USA, prowadzi się prace w zakresie projektowania, analizy i sterowania wielopalcowymi urządzeniami chwytającymi. Analityczny opis procesu chwytania jest jednak złożonym problemem badawczym (rys. 5). Istnieją trzy wzajemnie przenikające się obszary ograniczeń opisujących: zadanie uchwycenia (np. siły i ruchy, które należy wykonać), chwytany obiekt (np. kształt, ślisłość i kruchość) i urządzenie chwytające (np. maksymalna siła chwytu, maksymalne i minimalne rozwarście końcówek chwytanych). Prawdopodobne uchwycenie leży w obszarze tych trzech ograniczeń. Inne podejście

do problemu polega na wyznaczeniu takiego sposobu uchwycenia przy którym minimalizuje się siły zewnętrzne (a więc także siłę chwytu), wprowadzając ograniczenia równowagi sił, tarcie i możliwość manipulacji. W tym przypadku urządzenie chwytające poszukuje położenia najbardziej stabilnego (ze względu na poślizgi) przy założonych dopuszczalnych momentach w połączeniach członów i geometryczną dostępność uchwycenia.



Rys. 5. Złożoność problematyki badawczej chwytaków wielocłonowych

Chwytaki z końcówkami wielocłonowymi charakteryzują się wieloma zaletami m.in. umożliwiają one realizowanie różnych rodzajów chwytania, bazowanie obiektów manipulacji oraz chwytanie z siłami mniejszymi niż w chwytakach z dwiema końcówkami. Takie chwytaki ułatwiają również chwytanie obiektów w ruchu lub nie pozycjonowanych. Komputerowa analiza i symulacja procesu chwytania obiektów manipulacji chwytakiem z wielocłonowymi końcówkami umożliwia wyznaczenie warunków uchwycenia dla danych parametrów chwytaka oraz obiektu. Możliwe jest także analizowanie wpływu parametrów konstrukcyjnych chwytaka (w tym także materiałów końcówek) na przebieg procesu chwytania – dla danego obiektu można więc dobrać optymalne parametry konstrukcyjne chwytaka.

Wizualizacja procesu chwytania

Do rozważań nad optymalizacją procesu chwytania przyjęto konstrukcję chwytaka z wielocłonowymi końcówkami chwytanymi (rys. 6). Chwytak składa się z korpusu (bazy) $a - b$ oraz dwóch końcówek:

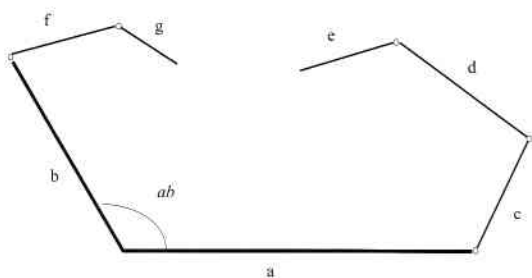
- kciuka, składającego się z dwóch członów $f - g$,
- palca, składającego się z trzech członów $c - d - e$.

Przyjęto następujące założenia:

- kąt między krawędziami korpusu $a - b$ jest większy od 90° ,
- maksymalne kąty rozwarcia między członami końcówek są mniejsze do 180° ,
- jeżeli obiekt znajduje się w zasięgu końcówek, to proces chwytania rozpocznie się od ruchu końcówki $c - d - e$, która dosuwa obiekt do korpusu chwytaka.

Zadanymi parametrami wejściowymi są:

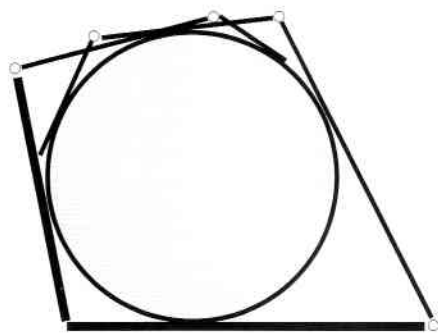
- wymiary geometryczne chwytaka,
- rodzaj materiału, z którego wykonane są końcówki chwytaka,
- parametry przekroju obiektu,
- rodzaj materiału, z którego jest obiekt wykonany,
- początkowe położenie obiektu względem chwytaka.



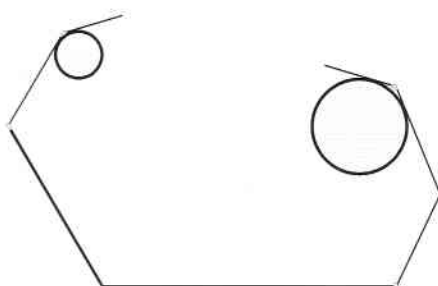
Rys. 6. Schemat kinematyczny chwytaka wieloczołowego

W Instytucie Automatyki i Robotyki Politechniki Warszawskiej zbudowano uproszczony model chwytaka wieloczołowego (fot. 1), składający się z korpusu, jednoczołowego kciuka oraz dwóch dwuczłonowych palców, umieszczonych obok siebie w ten sposób, że kciuk wchodzi między palce.

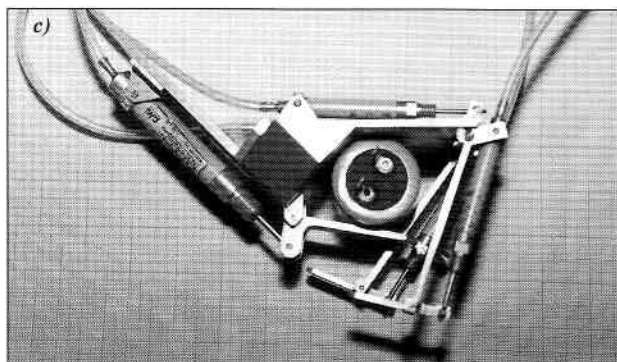
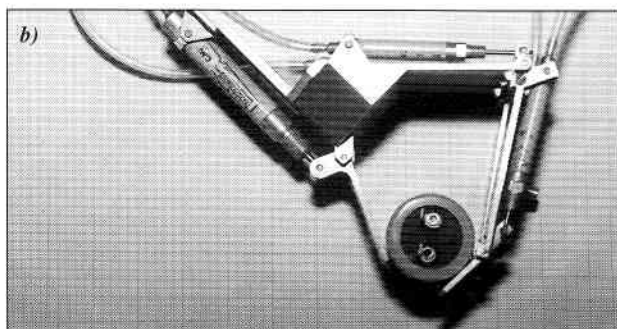
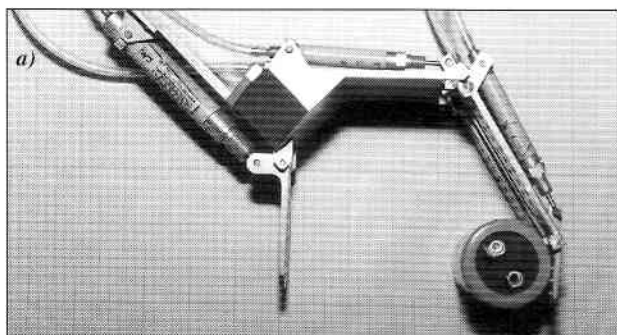
Celem procesu chwytania jest dosunięcie obiektu do położenia optymalnego, w którym przekrój obiektu styka się z krawędziami korpusu oraz końcówkami chwytaka (rys. 7).



Rys. 7. Optymalne położenie równowagi obiektu



Rys. 8. Skrajne położenie obiektów, będących w zakresie chwytania

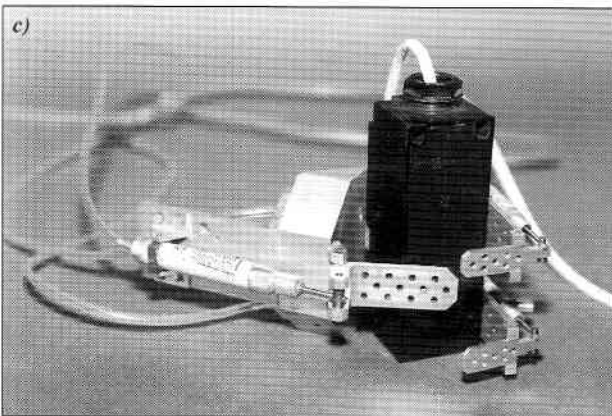
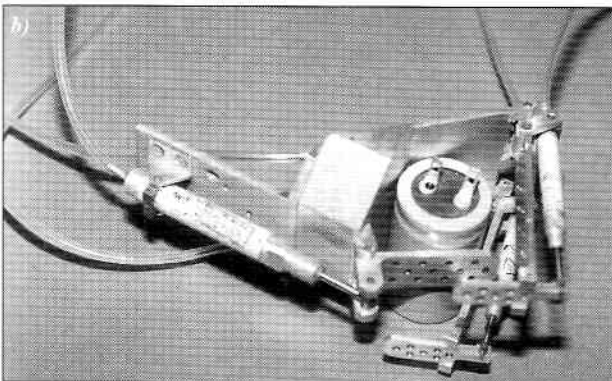
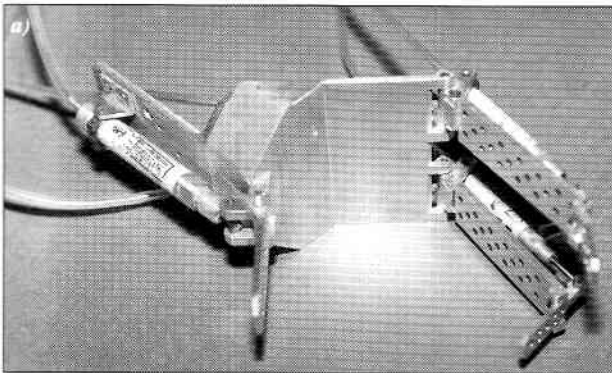


Fot. 1. Eksperymenty chwytania obiektu o przekroju kołowym: a) początkowe ustawienie obiektu, b) pośrednia faza chwytania, c) końcowe ustawienie obiektu

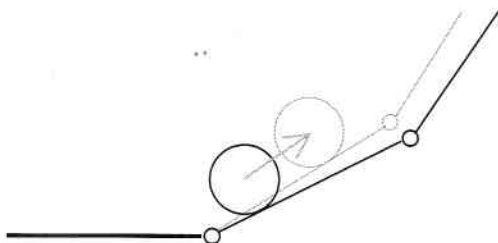
W pierwszym etapie analizy procesu chwytania jest sprawdzane, czy obiekt znajduje się w strefie chwytania, tj. w obszarze między krawędziami *a-b* korpusu chwytaka a

kończówkami *c-d-e* i *f-g* w stanie ich maksymalnego rozwarcia (rys. 8). Wynik tego sprawdzenia zależy od średnicy obiektu, położenia środka jego przekroju względem wybranego punktu chwytaka oraz od parametrów geometrycznych chwytaka. Jako skrajne położenie obiektu znajdującego się w zasięgu końcówki przyjęto takie, w którym, przy maksymalnych kątach rozwarcia między członami końcówki, styka się on jednocześnie z członami *d* i *e*. Wszystkie dalsze położenia obiektu, w których styka się on tylko z członem *e* nie prowadzą do pomyślnego zakończenia procesu chwytania, gdyż podczas ruchu końcówki obiekt ma tendencję do toczenia się po członie końcówki i oddalania od strefy chwytania. W trakcie badań eksperymentalnych modelu chwytaka (fot. 2) stwierdzono, że ruch ten zależy od dużej liczby czynników (np. tarcie ślizgowe i tarcie wiertne między obiektem a podłożem, tarcie w punkcie styku obiektu z końcówką, wzajemne ustawienie obiektu i końcówki), trudnych do opisu matematycznego. W dalszej analizie pominięto zjawisko toczenia się obiektu po końcówce (rys. 9); przyjęto, że punkt styku obiektu z końcówką nie zmienia się w czasie sprowadzania go do korpusu – złożenie to ułatwia analizę, a jednocześnie nie ma wpływu na wynik końcowy procesu chwytania, bowiem osiągnięcie położenia optymalnego następuje w wyniku działania obu końcówek. W rzeczywistości obiekt ściskany przez dwie zbliżające się nierównoległe powierzchnie wykonuje ruchy złożone – w momencie, gdy obiekt toczy się po jednej powierzchni, to między nim a drugą powierzchnią następuje poślizg, zjawisko to zachodzi przemienne [7].

Obiekt nie może być uchwycony, jeżeli przy maksymalnych kątach rozwarcia członów końcówki przekrój obiektu ma dwa punkty przecięcia z końcówkami lub korpusem chwytaka, albo też leży poza strefą chwytania (rys. 10); m.in. sprawdzić należy położenie, w którym końcówka styka się z powierzchnią obiektu



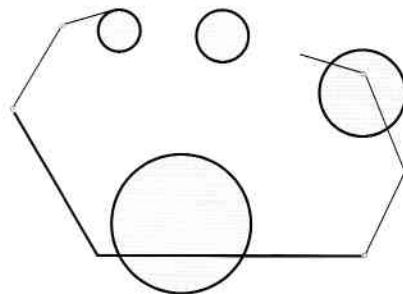
Fot. 2. Eksperymenty z chwytakiem wielocłonowym:
 a) widok chwytaka w stanie maksymalnego rozwarcia,
 b) końcowe ustawienie obiektu o przekroju kołowym,
 c) końcowe ustawienie obiektu o przekroju kwadratowym



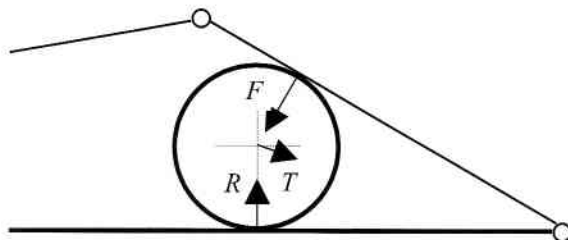
Rys. 9. Ruch obiektu w czasie dosuwania go do korpusu

tu – kąt między końcówką a krawędzią korpusu nie może być większy od założonej wartości maksymalnej.

Po dosunięciu obiektu do korpusu chwytaka sprawdzane jest, czy nacisk końcówki spowoduje jego przesunięcie się po krawędzi korpusu. Siły działające na obiekt zależą od miejsca



Rys. 10. Położenia obiektów poza obszarem chwytania



Rys. 11. Siły działające na obiekt sprowadzony do bazy chwytaka

styku z korpusem, od wymiarów obiektu i elementów chwytaka, rodzaju materiałów, z którego zostały one wykonane, a także od stanu stykających się powierzchni (rys. 11).

Na podstawie omówionych założeń oraz prezentowanych rozważań opracowano program komputerowy umożliwiający wizualizację procesu chwytania obiektów o przekroju kołowym chwytakiem z wielocłonowymi końcówkami chwytymi [8]. Wizualizacja umożliwia wyznaczenie warunków uchwycenia dla danych parametrów chwytaka oraz obiektu; możliwe jest także analizowanie wpływu parametrów konstrukcyjnych chwytaka (w tym także materiałów końcówek) na przebieg procesu chwytania – dla danego obiektu można więc dobrać optymalne parametry konstrukcyjne chwytaka.

Literatura

- [1] S. B. KANG, K. IKEUCHI: Toward Automatic Robot Instruction from perception – mapping human grasp to manipulator grasp. IEEE Trans. Robotics and Automation, 1997, no.1, pp. 81-95.
- [2] M. R. CUTKOSKY: On grasping choice, grasping models, and the design of hands for manufacturing task. IEEE Trans. Robotics and Automation, 1989, no.3, pp. 269-279.
- [3] K. B. SHIMOGA, A.A. GOLDENBERG: Soft robotic fingertips. Part I: A comparison of Construction materials. The International Journal of Robotics Research. 1996, no.4, pp. 320-334.
- [4] D. T. PHAM, W.B. HEGINBOTHAM: Robot Grippers. IFS (Publications) Ltd., Bedford 1986.
- [5] I. KATO, K. SADAMOTO: Mechanical Hands Illustrated. Hemisphere Publishing Corporation, New York 1987.
- [6] I. B. CZELPANOW, S.N. KOLPASZNIKOW: Schwaty promyślnych robotow. Maszynostrojenije, Leningrad 1989.
- [7] A. ROVETTA, K. TANIE: Grasping in nature and in robotics: A parallel logical concept. Bulletin of Mechanical Engineering Laboratory. 1989, no.51, pp. 1-9.
- [8] J. BARCZYK, L. SZYMAŃSKI: Wizualizacja procesu chwytania obiektu o przekroju kołowym. Prace Naukowe Instytutu Cybernetyki Technicznej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1993, nr 94, str. 240-245.
- [9] KASIŃSKI A.: Metody syntezy chwytu dla autonomicznych systemów manipulacyjnych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. Poznań 1998.