Według słownika języka polskiego słowo robot oznacza "urządzenie techniczne wykonujące mniej lub bardziej skomplikowane czynności, zastępujące zwykle fizyczną pracę człowieka". Etymologia tego słowa pochodzi z dramatu "Roboty Uniwersalne Rossuma" z 1920 roku, której autorem jest czeski pisarz Karel Capek. Powszechne użycie słowa robot odnosi się do urządzenia mechanicznego o pewnym stopniu autonomii.

W wielu mitologiach i wierzeniach ludowych pojawiają się "sztuczni ludzi". Na przykład grecki bóg Hefajstos miał mieć mechanicznych służących, a w Piśmie Świętym opisany jest golem na glinianych nogach. Już w starożytności podejmowano próby budowy mechanicznych urządzeń. Pierwszym mechanizmem, którego można nazwać robotem był drewniany ptak skonstruowany w IV w. p.n.e. przez greckiego matematyka o imieniu Archytas. Innym przykładem może śpiewający ptak lub teatr z ruchomymi rzeźbami Greka Hero. Natomiast w starożytnych Chinach w III w. p.n.e. Yan Shi zbudował urządzenie latające. Przez wieki były budowane urządzenia służące zwykle dla rozrywki. Tak było również w przypadku z automatem grającym na flecie, skonstruowanego w 1738 r. n.e. przez [Jacques de Vaucanson](http://en.wikipedia.org/wiki/Jacques_de_Vaucanson). Wraz z rozwojem techniki urządzenia automatyczne były coraz bardziej skomplikowane. Dużą zasługę w rozwój robotyki miał Nikola Tesla, który w 1989 roku zaprezentował bezprzewodowo, zdalnie sterowaną łódź. Pierwsza połowa XX wieku obfitowała w coraz to doskonalsze automaty, które stopniowo zaczęto nazywać robotami. Wśród ważniejszych osiągnięć tamtych czasów należy wymienić humanoidalnego robota Eric zbudowanego w 1928 r. i automatycznego pilota użytego w niemieckich rakietach V2 podczas II wojny światowej. W II połowie XX w. rozwój robotyki był bardzo dynamiczny, tak iż współcześnie roboty stały powszechnie stosowane nie tylko przy ciężkich i niebezpiecznych pracach, lecz również przy prostych pracach domowych jak odkurzanie.

%%

Jednym z nich był zbudowany ok. 270 r. p.n.e. przez Greka Ctesibius, zegar wodny z organami i poruszającymi się figurami.

Pierwszym według źródeł historycznych urządzeniem jest zbudowany ok 270 roku p.n.e. zegar wodny z organami i z poruszającymi się figurami. Przez następne wieki były budowane mechanizmy wykorzystujące ciśnienie powietrza lub wody.

%%

**Podział robotów:**

Obecnie najpopularniejszy jest podział robotów ze względu na strukturę kinematyczną:  
roboty mobilne  
roboty stacjonarne

**Roboty mobilne** - roboty mogące swobodnie poruszać się w przestrzeni, które nie potrzebują być sterowane przez człowieka. Są one ruchomą platformą z lub bez manipulatorów. Można wyróżnić roboty lądowe, wodne, powietrzne.

**Roboty stacjonarne** - roboty nie posiadające jednostki napędowej, do swobodnego poruszania się w przestrzeni. Pracują tylko w ściśle określonym, ustalonym wcześniej obszarze.

Natomiast norma ISO 8373:2012 podaje podział na:  
roboty usługowe;  
roboty przemysłowe.

Roboty usługowe -  roboty wykonujące czynności użytkowe wobec ludzi i sprzętu, z wyłączeniem systemów automatyki przemysłowej służących na przykład do produkcji, kontroli, pakowania czy składania.

that performs useful tasks for humans or equipment excluding industrial automation applications

Note 1 to entry: Industrial automation applications include, but are not limited to, manufacturing, inspection, packaging, and assembly.

Roboty przemysłowe - automatycznie sterowane, reprogramowalne, uniwersalne manipulatory programowalne w trzech lub więcej osiach. Mogą być stacjonarne lub mobilne używane w systemach automatyki przemysłowej. Taki robot składa się z:

* manipulatora, włącznie z siłownikami
* sterownika, włącznie z panelem sterującym, oraz wszystkie interfejsy komunikacyjne

automatically controlled, [**reprogrammable**(2.4)](https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en:term:2.4), [**multipurpose**(2.5)](https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en:term:2.5)[**manipulator**(2.1)](https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en:term:2.1), programmable in three or more [**axes**(4.3)](https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en:term:4.3), which can be either fixed in place or mobile for use in industrial automation applications

Note 1 to entry: The industrial robot includes:

* — the manipulator, including [**actuators**(3.1)](https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en:term:3.1);
* — the controller, including [**teach pendant**(5.8)](https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en:term:5.8) and any communication interface (hardware and software).

W pracy został wykorzystany robot przemysłowy, stacjonarny IRp-6

**Podstawowe pojęcia**

W celu dokładnego opisania robota niezbędne jest wprowadzenie odpowiedniej nomenklatury.

**manipulator -** machine in which the mechanism usually consists of a series of segments, jointed or sliding relative to one another, for the purpose of grasping and/or moving objects (pieces or tools) usually in several [**degrees of freedom**(4.4)](https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en:term:4.4)**.**Note 1 to entry: A manipulator can be controlled by an [**operator**(2.17)](https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en:term:2.17), a programmable electronic controller, or any logic system (for example cam device, wired).

Note 2 to entry: A manipulator does not include an [**end effector**(3.11)](https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en:term:3.11).

**autonomy -** ability to perform intended tasks based on current state and sensing, without human intervention

**physical alteration -** alteration of the mechanical system

reprogrammable - designed so that the programmed motions or auxiliary functions can be changed without [**physical alteration**(2.3)](https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en:term:2.3)

**multiprose -** capable of being adapted to a different application with [**physical alteration**(2.3)](https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en:term:2.3)

**control system -** set of logic control and power functions which allows monitoring and control of the mechanical structure of the [**robot**(2.6)](https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en:term:2.6) and communication with the environment (equipment and users)

degrees of freedom-

end effector -

przestrzeń robocza -

przestrzeń osiągalna -

para kinematyczna -

łańcuch kinematyczny -

Więzy -

przegub -

ruchliwość łańcucha kinematycznego -

powtarzalność - wielkość określająca

dokładność - wielkość określająca margines błędu między wyznaczonym punktem w przestrzeni, a osiągniętą pozycją robota dla tego punktu.

pozycjonowanie - sposób osiągnięcia odpowiedniego punktu w przestrzeni.

**Struktura robotów**

Manipulatory z punktu widzenia kinematyki złożone są z brył sztywnych, zwanych ogniwami, połączonych przegubami, które tworzą łańcuch kinematyczny. Zazwyczaj stosowane są przeguby obrotowe i przesuwne. Mają one 1 stopień swobody i razem z sąsiednimi ogniwami tworzą parę kinematyczną 5 stopnia. Przegub obrotowy zwany także rotacyjnym jest podobny do zawiasu i umożliwia obrót między dwoma ogniwami. Natomiast przegub przesuwny inaczej pryzmatyczny pozwala na ruch liniowy między ogniwami. W robotach mogą być stosowane połączenia z zwiększą liczbą stopni swobody, jednak w znaczny sposób komplikują obliczenia. Do kinematycznego opisu takich przegubów stosuje się dekompozycję na pary kinematyczne 5 stopnia o zerowej długości ogniwami pomiędzy nimi.

Ilość połączeń determinuje ilość stopni swobody manipulatora. Typowy manipulator z końcówką roboczą posiada 6 niezależnych stopni swobody: trzy odpowiadają za pozycję robota, trzy pozostałe za orientację. Jeśli robot posiada mniej stopni swobody to nie jest możliwe dotarcie do każdej pozycji w przestrzeni roboczej z dowolną orientacją. Jeśli zaś posiada więcej niż 6 to taki manipulator zwany jest redundantnym i jest on trudniejszy w sterowaniu.

Rysunek przegubów

**Przekształcenia jednorodne**

Do poprawnego opisania kinematyki manipulatorów potrzebne jest wyznaczenie pozycji i orientacji, każdego ogniwa robota, łącznie z przypisanym do niego układem współrzędnych. W tym przypadku ogniwo jest traktowane jako bryła sztywna. Do wyznaczenia pozycji i orientacji ogniwa wykorzystuję się notację przekształcenia homogenicznego. Jest ono macierzą kwadratową, utworzona przez kombinację macierzy rotacji i translacji.

**Translacja układu współrzędnych**

Macierz translacji opisuje przekształcenie układu bazowego do układu pochodnego poprzez przesunięcie. Początki układów znajdują się w innych punktach w przestrzeni, lecz ich osie są równoległe.

rysunek

Współrzędne wektora p w układzie bazowym na podstawie współrzędnych w układzie pochodnym, są wyznaczane z poniższej zależności:

p0 = p1 + d10

lub

p0x = p1x + d10x  
p0y = p1y + d10y  
p0z = p1z + d10z

**Rotacja układu współrzędnych**

Rysunek 22 przedstawia bryłę sztywną, do której jest przytwierdzony układ współrzędnych ox1y1z1. Celem jest powiązanie współrzędnych punktu p w układzie ox1y1z1 z referencyjnym układem ox0y0z0. Załóżmy że

Macierz rotacji opisuję sposób przekształcenia podstawowego układu współrzędnych do układu pochodnego poprzez obrót. Początki układów znajdują się w tym samym punkcie, lecz ich osie nie są równoległe.  
Współrzędne wektora p w układzie bazowym są wyrażone w postaci:  
wzor p0 = x0i0 + y0j0 + z0k0

Natomiast współrzędne wektora p w układzie pochodnym są wyrażone w postaci:  
wzór p1 = x1i1 + y1j1 +z1k1

Ponieważ równania przedstawiają ten sam wektor, zależność pomiędzy układami jest obliczona w następujący sposób:  
wzór   
x1 = p1 i1 = p0 i1 = x0 i0 i1 + y0 j0 i1 + z0 k0 i1

y1 = p1 j1 = p0 j1 = x0 i0 j1 + y0 j0 j1 + z0k0 j1

z1 = p1 k1 = p0k1 = x0 i0 k1 + y0 j0 k1 + z0 k0k1

Można to zapisać w postaci równania macierzowego:  
wzor p1 = R10 p0

R10 = [ i0i1 j0i1 k0i1;

i0j1 j0j1 k0j1;

i0k1 j0k1 k0k1]

Powyżej jest przedstawiona macierz przekształcenia współrzędnych wektora p w układzie pochodnym na współrzędne w układzie bazowym.

Przekształcenie odwrotne do powyższego, tzn. współrzędne w układzie w układzie bazowym na współrzędne w układzie pochodnym, otrzymuje się poprzez transpozycję danej macierzy według równania:

*p0* = (*R10* )*−1 p1* = *R01 p1*

*R01* = (*R10* )*−1* = (*R10* )*T* = [*i1i0 j1i0 k1i0*

*i1j0 j1j0 k1j0*

*i1k0 j1k0 k1k0]*

Macierze Ri i+1 i Ri+1 i są ortogonalne i ich wyznacznik jest równy detRi+1 i = +-1. Jeśli jest rozpatrywany układ prawoskrętny to detRi+1 i = +1. W dalszej części macierz ortogonalna z wyznacznikiem +1 jest nazywana macierzą rotacji.

Macierze rotacji wokół osi Oy, Ox i Oz są zdefiniowane w następujący sposób:

Rxteta = [1 0 0;  
 0 cos -sin;  
 0 sin cos]

Ryteta = [cos 0 sin;  
 0 1 0;  
 -sin 0 cos]

Ryteta = [cos -sin 0;  
 sin cos 0;  
 0 0 1]

Reprezentacja tych przekształceń w przestrzeni są przedstawione na rysunku .....

Rysunek

**Złożenie rotacji**

Jeśli do układów współrzędnych ox0y0z0 i ox1y1z1 zostanie powiązany przez rotację trzeci układ współrzędnych ox2y2z2 to reprezentację wektora p dla tych trzech układów można zdefiniować w następujący sposób:

P0 =R10Pl 1

P0 = R20P2 2

P0 = R21P2 3

Podstawiając równanie 3 do 1 otrzymuje się:

P0 = R10R21P2 4

Porównując z kolei równanie 2 z 4 powstaje następująca tożsamość:

R20 = R10R21

Z powyższego równania wynika, że przekształcenie współrzędnych wektora p układzie ox2y2z2 na współrzędne w układzie ox0y0z0 można obliczyć poprzez kolejne przekształcenia z układu ox2y2z2 na ox1y1z1 i układu ox1y1z1 na ox0y0z0.

Z powyższego równania wynika że macierz rotacji z układu ox2y2z2 na ox0y0z0 można obliczyć poprzez iloczyn macierzy rotacji ox2y2z2 na ox1y1z1 i ox1y1z1 na ox0y0z0 . Ta własność można stosować dla nieskończonej ilości układów współrzędnych powiązanych ze sobą relacją rotacji. Należy zaznaczyć, że składanie rotacji macierzy nie jest działaniem przemiennym.

**Reprezentacja rotacji**

Macierz rotacji zawiera aż 9 zmiennych, lecz korzystając ze wzoru Caleya dla macierzy ortonormalnych ilość niewiadomych można zredukować d 3. Wynika to, że dla każdej właściwej macierzy ortonormalnej, istnieje macierz skośnosymetryczna S,

S = [0 -sz sy; sz 0 -sx; -sy sx 0]

taka że:

R = (I-S)^-1\*(I+S)

W celu wybory określonych trzech niewiadomych stosuje się następujące reprezentacje parametrów:  
- reprezentacja oś-kąt (ang. Axis/Angle)  
- reprezentacja przez kąty Eulera (ang. Euler Angles)  
- reprezentacja przez kąty obrót/nachylenie/odchylenie (ang. Row, Pitch, Yaw Angles)

W pracy jest używana reprezentacja przez kąty Eulera.

Rozważając bazowy układ współrzędnych jako ox0y0z0 , relacja pochodnego układu współrzędnych ox1y1z1 jest wyrażona przez 3 kąty (fi,theta, ksi). Kąty te odpowiadają za: fi - obrót wokół osi oz, theta - obrót wokół osi oy, ksi - jeszcze raz obrót wokół osi oz.

rysunek

Wykorzystując macierze rotacji, reprezentację przez kąty Eulera można zapisać w postaci macierzy R10.

R10 = Rzfi\*Rytheta\*Rzksi =

macierz R10

**Skalowanie**

**Przekształcenie perspektywiczne**

**Macierz przekształcenia jednorodnego**

W kinematyce manipulatorów przekształca się układy współrzędnych, dlatego skalowanie i perspektywa nie są uwzględniane przy tworzeniu macierzy przekształcenia. Lecz w pracy jest wykorzystany także system wizyjny, który wykorzystuje pełną macierz przekształcenia.

Opisać macierz w uwzględnieniem skalowania i perspektywy

**Kinematyka robota**

Robot jest łańcuchem kinematycznym o wielu stopniach swobody złożonym z ogniw i z przegubów. Każde z ogniw można traktować jako bryłę sztywną. Kinematyka robota, jako dziedzina wiedzy, zajmuję się wyznaczaniem pozycji, orientacji, prędkością i przyspieszeniem każdego ogniwa oraz sposobu jego połączenia w łańcuch kinematyczny.

W niniejszej pracy skoncentrowano się przede wszystkim na wyznaczeniu poprawnej pozycji i orientacji robota, zaniedbując sposób dotarcia do celu, dlatego opis kształtowania prędkości i przyspieszania jest pominięty.

**Kinematyka prosta**

Pod pojęciem proste zadanie kinematyki rozumie się określenie pozycji końcówki roboczej przestrzeni, najczęściej w kartezjańskim układzie współrzędnych. Osiąga się to poprzez kolejne określenie pozycji ogniw w łańcuchu kinematycznym na podstawie pomiarów położenia względem poprzedniego ogniwa. Pomiar odbywa się poprzez odczyt z czujnika znajdującego się w danym złączu.

Celem analizy kinematyki prostej jest obliczenie wpływu przemieszczenia się każdego ogniwa w łańcuchu kinematycznym manipulatora na końcówkę roboczą. Zakładając, że wszystkie złącza mają 1 stopień swobody, to każda akcja wykonana na złączu może być opisana poprzez jedną liczbę; przy złączu rotacyjnym jest to kąt obrotu, a przy złączu pryzmatycznym jest to przesunięcie.

W opisie robota przyjmuję się, że ogniwa numeruję się od 0 do n+1 gdzie n jest ilością złącz. Nieruchome ogniwo przymocowane do podłoża określa się liczbą 0, a pozostałe ogniwa numeruje się w kolejności od podstawy do końcówki roboczej. Przeguby są numerowane w taki sposób, że i-te złącze jest punktem połączenia i-tego oraz i-1-ego ogniwa. Natomiast qi jest liczbą określającą złącze (kąt lub przesunięcie). Ponadto dla każdego ogniwa jest sztywno przypisany lokalny układ współrzędnych, tak aby każdy punkt umieszczony na ogniwie miał zawsze takie same współrzędne.

rysunek

Każda transformacja współrzędnych układu i na i-1 jest opisana homogeniczną macierzą A zależną od wartości qi - Ai(qi). Poprzez kolejne wymnożenie macierzy Ai(qi) oblicza się Macierz transformacji pomiędzy układem i-tym oraz j-tym układem. W ten sposób oblicza się macierz transformacji współrzędnych między układem bazowym, a układem efektora.

H = Tn0 = A1(q1)A2(q2)...An-1(q-1)An(qn)

Wynik jest macierzą przekształcenia jednorodnego.

H = [Rn0 dn0; 0 1]

**Notacja Denavita-Hartenberga**

Każdy układ współrzędnych przypisany do danego ogniwa można dowolnie ustalić. W celu uniknięcia pomyłek spowodowanych odmiennymi sposobami ustalania układów współrzędnych w pracy[] została wprowadzona najczęściej stosowana konwencja przyporządkowania osi tych układów.

Według konwencji Denavita-Hartenberga osie układów są przyporządkowane w następujący sposób:  
- oś ozi jest osią przegubu i  
- początek układu jest wyznaczony na osi ozi  
- oś oxi pokrywa się z prostą prostopadłą do osi ozi i ozi+1 łączącą przeguby i oraz i+1  
- oś ozi uzupełnia prawoskrętny układ współrzędnych

W tej notacji każdemu ogniwu przyporządkowane są 4 wielkości:  
- theta - kąt między ogniwami ai-1 i ai wokół osi przegubu i, określony prawoskrętnie  
- d - odległość między ogniwami ai-1 i ai mierzona wzdłuż osi przegubu i  
- alpha - kąt między osiami przegubów i i i+1, wokół ogniwa ai, określony prawoskrętnie  
- a - odległość między osiami przegubów i i i+1

Parametry alpha i a określają ogniwo, a theta i d określają przegub. Dwie pierwsze wielkości są stałe, dwie ostatnie zmieniają się wraz ruchem łącza.

W tej konwencji każda macierz przekształcenia Ai jest wynikiem kombinacji 4 podstawowych transformacji. Są to kolejno:  
- obrót wokół osi oz o kąt theta  
- przesunięcie wzdłuż osi oz o odległość d  
- przesunięcie wzdłuż osi ox o odległość a  
- obrót wokół osi ox o kąt alfa

Ai = Rotztheta\*Transzd\*Transxa\*Rotxalpha

przerysować

**Kinematyka odwrotna**

Celem odwrotnego zadania kinematyki jest obliczenie zmiennych złączowych dla ustalonej pozycji i orientacji końcówki roboczej.

Mając daną macierz przekształcenia jednorodnego H dla konkretnej pozycji i orientacji efektora:

H = [R d; 0 1] e E(3) 1

Należy znaleźć rozwiązanie równania:

Tn0 (q1,...,qn) = H 2

gdzie

Tn0 (q1,...qn) = A1...An 3

Z równania (2) wynika, że jest 12 nietrywialnych równań i n niewiadomych w zależności od ilości stopni swobody łańcucha kinematycznego.

Ponieważ są to równania nieliniowe, więc są dość trudne do rozwiązania. Można do tego użyć metod numerycznych, lecz ze względu na szybkość i dokładność są preferowane rozwiązania w postaci jawnej. Lecz nie każdy manipulator może być rozwiązany w ten sposób. Z tego względu projektanci robotów konstruują roboty, dla których tak postać istnieje.

Należy także zauważyć, że nie dla każdego położenia w przestrzeni istnieje rozwiązanie tego zadania. Zadane współrzędne końcówki roboczej muszą się zawierać w przestrzeni roboczej manipulatora. Ponadto jeśli robot jest redundantny[[1]](#footnote-2) to dla większości punktów w przestrzeni roboczej niemożliwe jest wyznaczenie jednoznacznego rozwiązania.

Jeśli w manipulatorze osie obrotu trzech ostatnich przegubów (składających się na końcówkę roboczą) łączą się w jednym punkcie, to można zastosować dekompozycję na dwa prostsze zadania: obliczenie zmiennych dla danej orientacji końcówki roboczej oraz obliczenie zmiennych dla danej pozycji w przestrzeni końca manipulatora.   
Ten sposób rozwiązania został przedstawiony w pracy [D.Pieper, "The kinematics of manipulators under computer control"].

W skrócie ta metoda opiera się na 3 krokach.  
1. Znalezienie punktu centralnego końcówki roboczej (punktu przecięcia się osi trzech ostatnich łączy) ze wzoru:

pc = d - d6RK

Gdzie:  
pc - punkt centralny  
d - zadana pozycja chwytaka  
d6 - odległość pc od chwytaka wzdłuż osi oz6  
R - macierz zadanej orientacji chwytaka  
k - wektor [0 0 1]T

2. Wyliczenie zmiennych złączowych dla pozycji pc.

3. Na podstawie zmiennych złączowych obliczenie macierzy Rn-30.

4. Obliczenie zestawu kątów Eulera związanych z macierzą rotacji

Rnn-3 = (Rn-30)^-1\*R = (Rn-30)T\*R

Jeśli końcówka robocza nie spełnia podanych założeń to za punkt pc przyjmuję się środek pierwszego łącza, który odpowiada za orientację chwytaka.

Współrzędne złączowe dla punktu pc można obliczyć na różne sposoby np. analitycznie lub geometrycznie. W podejściu analitycznym oblicza się współczynniki macierzy Transformacji. Natomiast w sposobie geometrycznym rozbija się zadanie geometrii przestrzennej na szereg zadań z geometrii płaskiej.

można ewentualnie napisać coś o serwomechanizmie

**Układ sterowania**

Jest to podstawowy element robota służący do sterowania pracą manipulatora według odpowiedniego algorytmu działania ustalonego podczas programowania. Za jego pomocą gromadzone są dane z czujników, które są przetwarzane oraz interpretowane jako odpowiednie stany obiektu manipulowanego . Mierzone są własności fizyczne, parametry tego obiektu. Układ sterowania nadzoruje cykl działań manipulatora zawartego w programie robota. Jednak najważniejszym zadaniem układu jest przekazania sygnałów sterujących do napędów.

Ze względu na poziom automatyzacji układ sterowania roboty są podzielone na 3 generacje:  
I generacja - robot jest wyposażony w czujniki wewnętrzne, służące do określania stanów robota jak sensory położenia serwomechanizmów. Jest zdolny do samodzielnego wykonania czynności wcześniej zdefiniowanej przy programowaniu. Nie jest w stanie zbierać informacji o środowisku zewnętrznym. Działanie robota jest wcześniej zaplanowane i niezmienne. Sterowanie przemieszczeniem jest realizowane we współrzędnych złączowych.  
II generacja - robot jest wyposażony w czujniki wewnętrzne i zewnętrzne. Jest zdolny do samodzielnego wykonywania czynności z uwzględnieniem czynników zewnętrznych przewidzianych przez programistę. Reakcja na zmienne zewnętrzne jest zrealizowana jako alternatywne ścieżki programu. Jest w stanie zbierać informację o środowisku zewnętrznym. Sterowanie przemieszczeniem jest realizowane we współrzędnych zewnętrznych.  
III generacja - robot jest wyposażony w czujniki zewnętrzne i wewnętrzne. Sterowanie przemieszczeniem jest realizowane we współrzędnych zewnętrznych. Jest zdolny do samodzielnego wykonywania czynności z uwzględnieniem zmiennych zewnętrznych. Jest wyposażony w elementy sztucznej inteligencji. Reakcja na zmienne zewnętrzne jest realizowane poprzez aktualizacje oprogramowania w trakcie wykonywania działań. Sterowanie w środowisku zewnętrznym jest realizowane w zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego.

W wykonywanym projekcie układ sterowania jest w wykonany w formie II generacji, ponieważ sterowanie ze względów technicznych nie jest aktualizowane ze względu na czynniki zewnętrzne.

**Układ wizyjny**

Są to czujniki zewnętrzne robota, wykrywające i przetwarzającego sygnały wizyjne w postaci obrazu zarejestrowanego przez aparat fotograficzny lub kamerę. System wizyjny może wykonywać następujące działania:  
- ocena elementów  
- identyfikacja elementów  
- określenie miejsca umieszczenia elementu  
- określenie punktu uchwycenia elementu  
- kontrola trajektorii ruchomych obiektów w celu chwycenia ruchomych elementów lub wykrycia zagrożenia  
- sterowanie robotami ruchomymi   
- zewnętrzny nadzór nad przestrzenią roboczą

**Przetwarzanie obrazu**

Przetwarzanie sygnału wizyjnego na konkretne wielkości łatwe w interpretacji w programie robota jest realizowane przez szereg operacji na obrazie zależnych od założonego wyniku.

Człowiek najwięcej informacji czerpie ze zmysłu wzroku. Oczy odbierają fale elektromagnetyczne w pewnym zakresie[[2]](#footnote-3) lecz to mózg przetwarza te bodźce wyciągając z nich ogromną ilość danych jak np. położenie, wielkość, kształt, kolor widzianych przedmiotów. Naukowcy i inżynierowie od wielu lat próbują zaadoptować ten zmysł do maszyn. Ważnym momentem w tym procesie było przetworzenie obrazu do postaci cyfrowej w 1975 r. przez Steven’a Sassnon’a aparatem zbudowanym przez Estman’a Kodak’a. Od tego momentu jest możliwe automatyczne wyciągnięcie informacji z otoczenia na podstawie fal elektromagnetycznych odbieranych w podobny sposób jak człowiek. Obraz pobrany przez aparat lub kamerę jest dwuwymiarową tablicą małych punktów zwanych pikselami, z których każdy ma określone wartości. Pobranie konkretnych danych z obrazu jest wykonywane poprzez odpowiednie operacje matematyczne i logiczne.

**Przestrzenie kolorów**

Widzenie kolorów i ich rozróżnianie to bardzo skomplikowany proces zachodzący w zmyśle wzroku, choć przez większość ludzi postrzegany jako trywialny. W celu zapisania obrazu w postaci cyfrowej jest potrzebne zdefiniowanie odpowiednich atrybutów dla pikseli z zależności od przyjętej przestrzeni kolorów.

**Przestrzeń RGB (red, Green, blue)**

Bardzo popularna przestrzeń barw używana urządzeniach emitujących światło (np. monitory, wyświetlacze LED’owe). Należy do rodziny przestrzeni trójchromatycznych opisanych w pozycji[]. Jest to addytywny system kolorów, tzn. wszystkie możliwe kolory są wyznaczone poprzez dodanie do siebie trzech podstawowych barw: czerwonej, zielonej i niebieskiej. Piksele mają trzy atrybuty oznaczające natężenie tych kolorów. Trzeba wspomnieć, że z powodu technicznych nie można wyświetlić ujemnego natężenia barwy, przez co nie można otrzymać wszystkich kolorów widzianych przez człowieka. Powstało wiele odmian tej przestrzeni kolorów np. sRGB.

**Przestrzeń CMY(k)**

Substraktywna przestrzeń barw używana w drukarkach, przemyśle fotograficznym i projektorach. Kolor otrzymuje się poprzez odjęcie od widma głównego składowych kolorów cyjanu (odcień błękitu), Magenty (odcień fioletu) oraz żółtego. W tym systemie nie jest możliwe dokładne odzwierciedlenie czerni, więc wprowadza się dodatkową czwartą składową – czerń.

**Przestrzeń HSL (hue, saturation, lightness)**

Bardziej intuicyjna przestrzeń kolorów. Jest określona za pomocą trzech parametrów: barwy, nasycenia i jasności. Pierwszy parametr określa kąt na kole barw Newtona[[3]](#footnote-4), drugi - odległość od środka tego koła wyznaczający nasycenie barwą, trzeci – jasność lub inaczej nasycenie koloru końcowego kolorem białym. Istnieją odmiany tego systemu jak HSV, HSI, które trochę inaczej definiują ostatni parametr.

**Przestrzenie YIQ, YUV, YCbCr, YCC**

Systemy używane do transmisji telewizyjnej. Działają na zasadzie oddzielenia składowej jasności i barwy. Barwa jest prezentowana za pomocą dwóch parametrów, które określają stosunek zawartość koloru czerwonego i niebieskiego w obrazie.

**Przestrzeń CIE XYZ**

Przestrzeń odzwierciadlająca wszystkie barwy widziane przez człowieka. Parametry XYZ odpowiadają trzem fikcyjnym barwom utworzonych na podstawie dodatnich składowych widmowych fal elektromagnetycznych najlepiej widzianymi przez ludzkie oko.

**Przestrzeń CIE Lab**

Przestrzeń utworzona poprzez matematyczne przekształcenie przestrzeni CIE XYZ. Odzwierciedla wszystkie kolory widziane przez człowieka. Ponadto barwy postrzegane przez człowieka jako jednakowo różniące się od siebie, są w jednakowej odległości od siebie w tej przestrzeni barw.

**Deformacje obrazu**

Aparaty fotograficzne i kamery przemysłowe pobierają obraz przez układ optyczny, który powoduje zniekształcenia obrazu.

**Abberacja chromatyczna**

Wada soczewki, która powoduje pojawianie się kolorowych obwódek wokół kontrastowych krawędzi. Jest to spowodowane różnym kątem załamania się światła w soczewce dla różnych długości fal, w wyniku czego ogniskowa soczewki nie jest identyczna.

**Abberacja sferyczna**

Wada występująca przy użyciu soczewki sferycznej, powodująca rozmazanie obrazu przy krawędziach. Jest to spowodowane mniejszą grubością soczewki przy jej brzegach, przez co promienie oddalone od środka soczewki mają różną ogniskową.

**Dystorsja**

Efekt powodujący zniekształcenie obrazu, poprzez zaokrąglenie do wewnątrz lub na zewnątrz poziomych i pionowych linii. Jest to wynikiem różnego stopnia powiększania obrazu dla różnych kątów obrazu.

**Filtracja**

Często obrazy pobrane przez system wizyjne mają zakłócenia, co utrudnia odczytanie z nich szukanych informacji. W tym celu stosuje się odpowiednie operacje matematyczne na obrazie w celu poprawy jego jakości. Te czynności nazywane są filtracjami. W kolorowych obrazach każdy piksel ma więcej niż jeden atrybut, przez co działania matematyczne muszą odbywać się na każdym atrybucie osobno. W ten sposób trudno jest uzyskać satysfakcjonujące wyniki, więc zazwyczaj te operacje wykonuję się na obrazach w skali szarości.

**Filtry liniowe**

Są to najszybsze i bardzo powszechne techniki poprawy jakości obrazu. Opierają się one na obliczenie wartości piksela przez podaną formułę matematyczną na podstawie wartości pikseli w sąsiedztwie. Gdzie sąsiedztwo zazwyczaj przyjmuję kształt kwadratowej maski o wymiarach 3X3 lub większej (rys. nr).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| g(x-1, y-1) | g(x,y-1) | g(x+1,y-1) |
| g(x-1,y) | g(x,y) | g(x,y+1) |
| g(x-1,y+1) | g(x,y+1) | g(x+1,y+1) |

Rysunek 1

Filtrację przedstawia wzór .....

Gdzie:

- pozycja filtrowanego piksela

f() - funkcja mapująca piksele sąsiedztwa

g() - funkcja szarości pikseli

N\* - sąsiedztwo danego piksela

Stosując tą konwencję można ma przykład utworzyć filtry:

* wygładzający
* wygładzający na podstawie krzywej Gaussa
* Prewitt'a - wykrywający krawędzie poziome pionowe oraz ukośne
* Sobela - wykrywający krawędzie poziome i w analogiczny sposób krawędzie w innych kierunkach

**Filtry nieliniowe**

Także filtry nieliniowe poprawiają jakość obrazu. Do nich należą filtry wykorzystujące statystykę, a dokładniej kwantyle. Jest to pojęcie ze statystyki oznaczające, że dla wartości x prawdopodobieństwo wystąpienia mniejszej wartości wynosi k/q. Najpopularniejszym kwatylem jest mediana - czyli środkowa wartość zbioru.

Wartość piksela oblicza się poprzez znalezienie mediany wartości pikseli sąsiadujących. Piksele sąsiadujące określa, się tak za pomocą maski, najczęściej kwadratowej.

**Filtry morfologiczne**

Są to metody przetworzenia obrazu, opierające się także na algebrze matematycznej, a dokładniej na pojęciu maksimum i minimum zbioru. Ta czynność najbardziej widoczny efekt ma dla obrazów binarnych (piksele dla tych obrazów posiadają tylko dwie wartości 1 lub 0), ponieważ mogą usunąć szumy lub dosztukować wykryty obiekt.

**Erozja**

Dla tej operacji badany piksel przyjmuję minimalną wartość ze zbioru sąsiadów, określonych za pomocą wcześniej zdefiniowanej maski. Określa to wzór:

**Dylatacja**

Z kolei dla tej operacji badany piksel przyjmuję maksymalną wartość ze zbioru sąsiadów, określonych za pomocą zdefiniowanej maski. Określa to wzór:

**Otwarcie, zamknięcie**

Te metody często występują w parze w celu zachowania kształtu wykrytych przedmiotów, zwłaszcza w obrazach binarnych. Kiedy operacja erozji zmniejszy powierzchnię znalezionego przedmiotu, to dylatacja z kolei zwiększy jego powierzchnię. Operacja dylatacji poprzedzonej erozją nazywa się otwarciem, a erozją z wcześniejszą dylatacją jest określona jako zamknięcie. To są dwie różne metody ponieważ erozja i dylatacja nie są działaniami przemiennymi.

**Operacje w dziedzinie częstotliwości**

Dużo informacji z badanego obrazu można uzyskać poprzez rozpatrywanie go w dziedzinie częstotliwości. Jest to możliwe poprzez przetworzenie obrazu przez transformatę Fouriera.

**Tronfromata Fouriera**

Jest to rozkład funkcji okresowej na szereg funkcji okresowych o określonych częstotliwościach. Transformata podaje sposób w jaki poszczególne częstotliwości składają się na pierwotną funkcję. Ponadto funkcję przekształconą przez transformatę można przekształcić do pierwotnej postaci za pomocą transformaty odwrotnej.

Transformata Fouriera dla funkcji f(t) jest zdefiniowana następująco:

Natomiast transformata odwrotna jest definiowana wzorem:

Dla funkcji f(x) w postaci dyskretnej jest podana transformata w ersji dyskretnej:

Dla

Dyskretna transformata odwrotna jest zadana wzorem:

Dla

Do przetwarzania obrazu o wymiarach NxN jest podana transformata dla funkcji dwuwymiarowych:

Dla

Argumenty u i v są interpretowane jako częstotliwości przestrzenne wzdłuż osi x i y. Składowe F(u, v) odpowiadające dużym wartościom, kodują drobne obiekty i gwałtowne przejścia pomiędzy czernią i bielą w przetwarzanym obrazie. Natomiast fragmenty funkcji F(u, v) występujące dla małych wartości argumentów, odpowiadają dużym przedmiotom i fragmentom tła. Wykorzystując te własności można zastosować filtr dolnoprzepustowy usuwający drobne zakłócenia, lub górnoprzepustowy filtrujący elementy tła.

**Filtr Wienera**

Bardzo dobre wyniki w usuwaniu szumu z obrazu daje filtr zaproponowany przez N. Wienera. Znany jest także pod nazwą filtru minimalnego błędu średniokwadratowego. Założeniem operacji filtracji jest znalezienie estymowanego obrazu f', takiego żeby różnica błędu średniokwadratowego między nim, a zakładanego obrazu bez zakłóceń f była jak najmniejsza. Jest to przedstawione wzorem:

Gdzie:  
E{ } - jest to spodziewana wartość argumentu

Przyjmując następujące założenia:  
 - zakłócenia i czysty obraz są nieskorelowane ze sobą  
- czysty obraz lub zakłócenie ma zerową spodziewaną wartość  
- poziom natężenia sygnału w estymacie jest funkcją liniową zakłóconego obrazu  
można , podążając za Gonzalezem w publikacji [], podać wzór filtracji obrazu w dziedzinie częstotliwościowej:

Gdzie:  
F'(u,v) - otrzymany obraz po filtracji  
H(u,v) - funkcja zakłócenia  
Sƞ - widmowa gęstość mocy zakłócenia  
Sf - widmowa gęstość mocy czystego obrazu

**Detekcja krawędzi algorytmem Canny'ego**

Wielostopniowy algorytm służący do detekcji krawędzi w obrazie opracowany przez John'a Canny'ego w 1986 r. zaprezentowany w pracy [].

1. Usunięcie zakłóceń za pomocą filtru bazującego na krzywej Gaussa.

2. Obliczenie wartości gradientu w obrazie.

3. Poprawienie ciągłości krawędzi poprzez uzupełnienie brakujących pikseli zgodnie kierunkiem antygradientu.

4. Progowanie z histerezą w celu usunięcie nieistotnych krawędzi.

**Transformata Hough'a**

Transformata przeznaczona do wykrywania prostych i figur opisanych analitycznie. Jest bardzo przydatna do znajdowania określonych obiektów w obrazie np. okrąg, trójkąt, kwadrat.

Transformata Hough'a bazuję na równaniu biegunowym prostej:

x

r

Ɵ

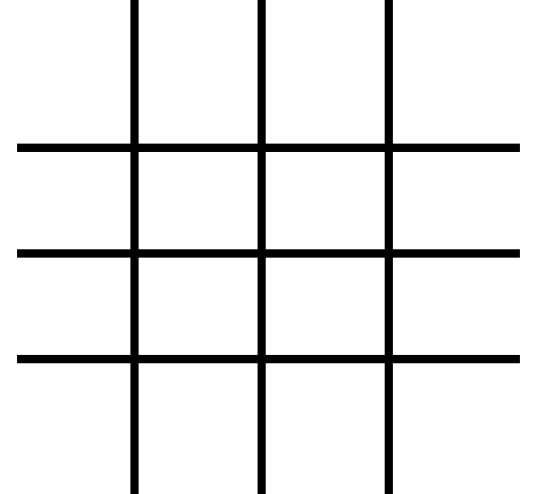
y

Gdzie:

r - odległość prostej od bieguna (często przyjmowany jest początek układu współrzędnych)

Ɵ - kąt między ortonormalną do badanej prostej, a osią ox.

Wynikiem tej transformacji jest zbiór prostych, z których składa się dany obraz, przedstawionych w prostokątnym układzie współrzędnych o parametrach r i Ɵ.

obrazek kratki przed i po transformacji

**Wyznaczanie środka ciężkości**

1. Łańcuch kinematyczny robota ma więcej niż 6 stopni swobody. [↑](#footnote-ref-2)
2. Ten zakres widma fal elektromagnetycznych wynosi 380-720 nm i nazywany jest światłem widzialnym. [↑](#footnote-ref-3)
3. Koło utworzone przez rozszczepienie światła widzialnego przez pryzmat i ukształtowanie tego widma w kształcie koła. [↑](#footnote-ref-4)