Adaptacja slajdów do wykładów

Introduction to Robotics (ES159)
Advanced Introduction to Robotics (ES259)

autor oryginału: Robert Wood

źródło: www.RoboticsCourseWare.org

Podręczniki

Polski odpowiednik:
M. Spong, M. Vidyasagar, „Dynamika i sterowanie robotów", WNT, W-wa, 1997

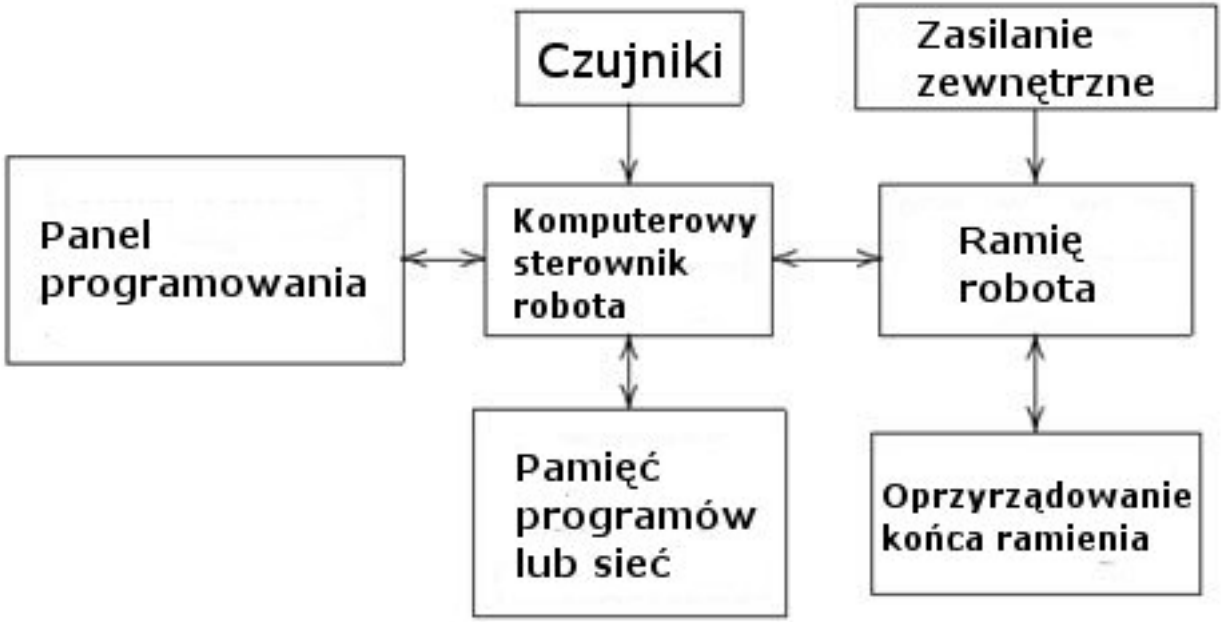
Podstawowy:
M. Spong, S. Hutchinson, and M. Vidyasagar, "Robot Modeling and Control", Wiley, New York, 2005

Starsza książka pomocnicza po polsku:
J. Craig, „Wprowadzenie do robotyki. Mechanika i sterowanie", WNT, W-wa, 1995

Pomocniczy:
E. Jezierski, „Dynamika robotów", WNT, Warszawa, 2006

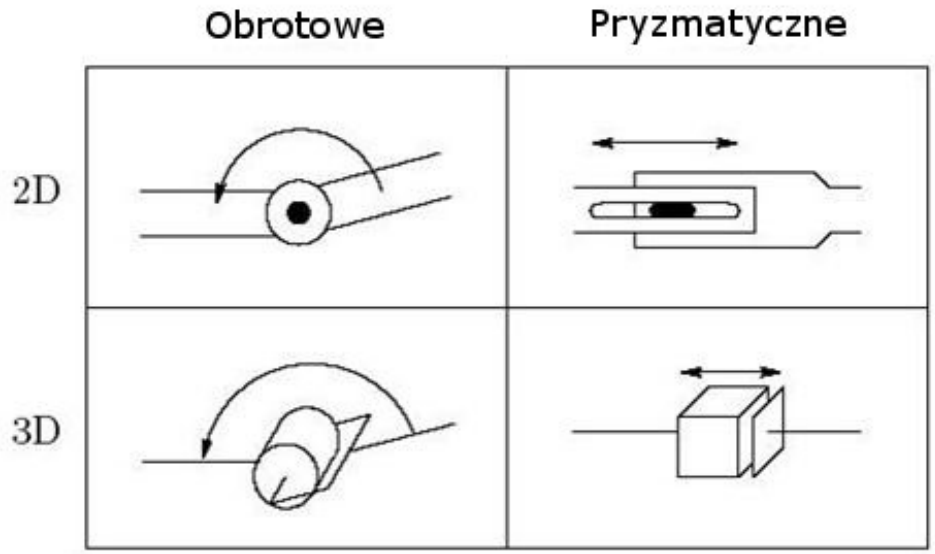
Roboty przemysłowe

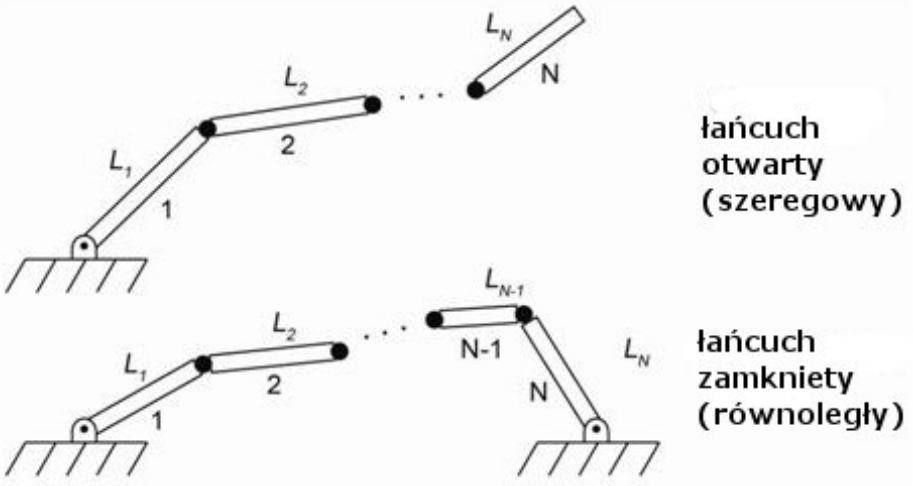
- Duża precyzja i zadania powtarzalne
  - Zbieranie i sortowanie, malowanie, itp.
- Środowiska niebezpieczne

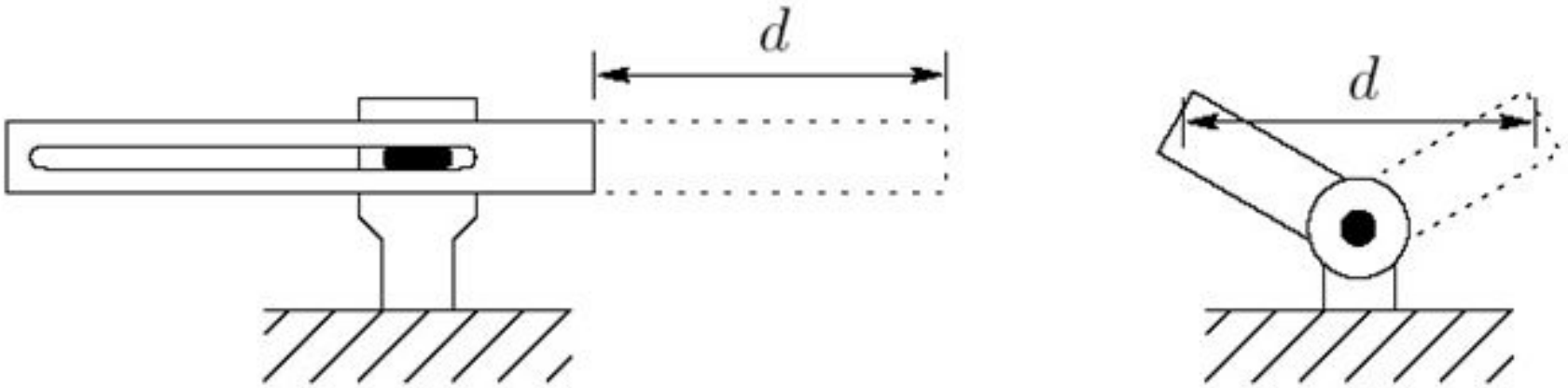


Reprezentacje

- Przez większość kursu, będziemy rozważać manipulatory jako otwarte lub zamknięte łańcuchy kinematyczne członów i przegubów
  - Dwa typy przegubów: obrotowe (θ) i pryzmatyczne (d)







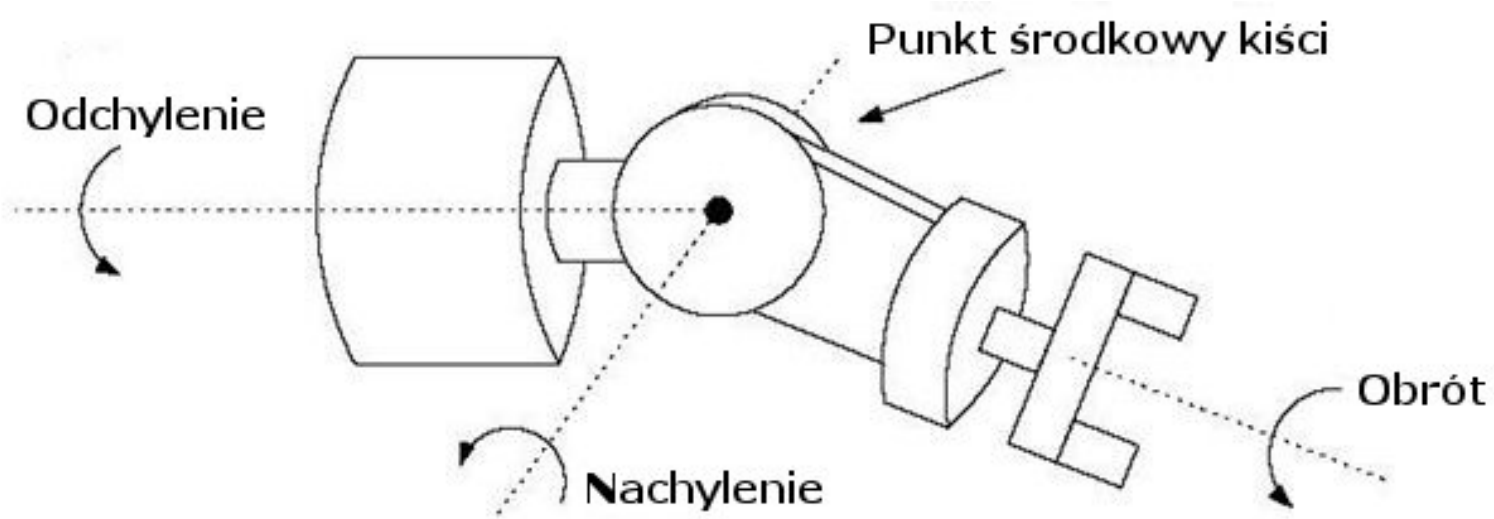
Dla tego samego zakresu ruchu można zrobić człon obrotowy dużo mniejszy niż człon liniowy.

Definicje

- Końcówka robocza/narzędzie
  - Urządzenie pozostające w bezpośrednim kontakcie ze środowiskiem; zazwyczaj bardzo zależne od problemu.
- Konfiguracja
  - kompletna specyfikacja każdego punktu manipulatora
  - zbiór wszystkich możliwych konfiguracji stanowi *przestrzeń konfiguracyjną*
  - dla członów sztywnych wystarczy wyspecyfikować przestrzeń konfiguracyjną przez kąty przegubów $q = [q_1 \quad q_2 \quad \ldots \quad q_n]^T$
- Przestrzeń stanów
  - Bieżąca konfiguracja (pozycje przegubów q) i prędkości $\dot{q}$
- Przestrzeń robocza
  - Przestrzeń osiągalna przez końcówkę manipulacyjną
    - Przestrzeń osiągalna
    - Przestrzeń manipulacyjna

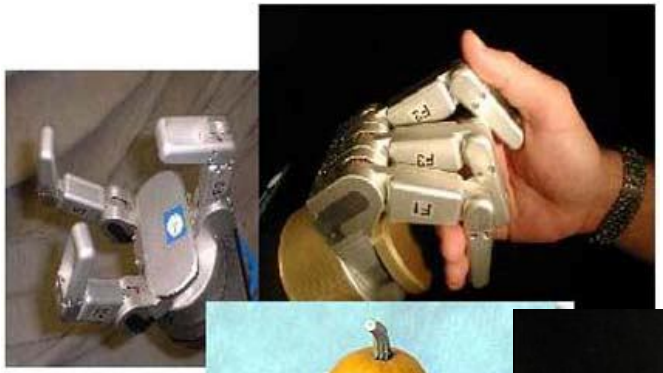
Najczęstsze konfiguracje: kiście

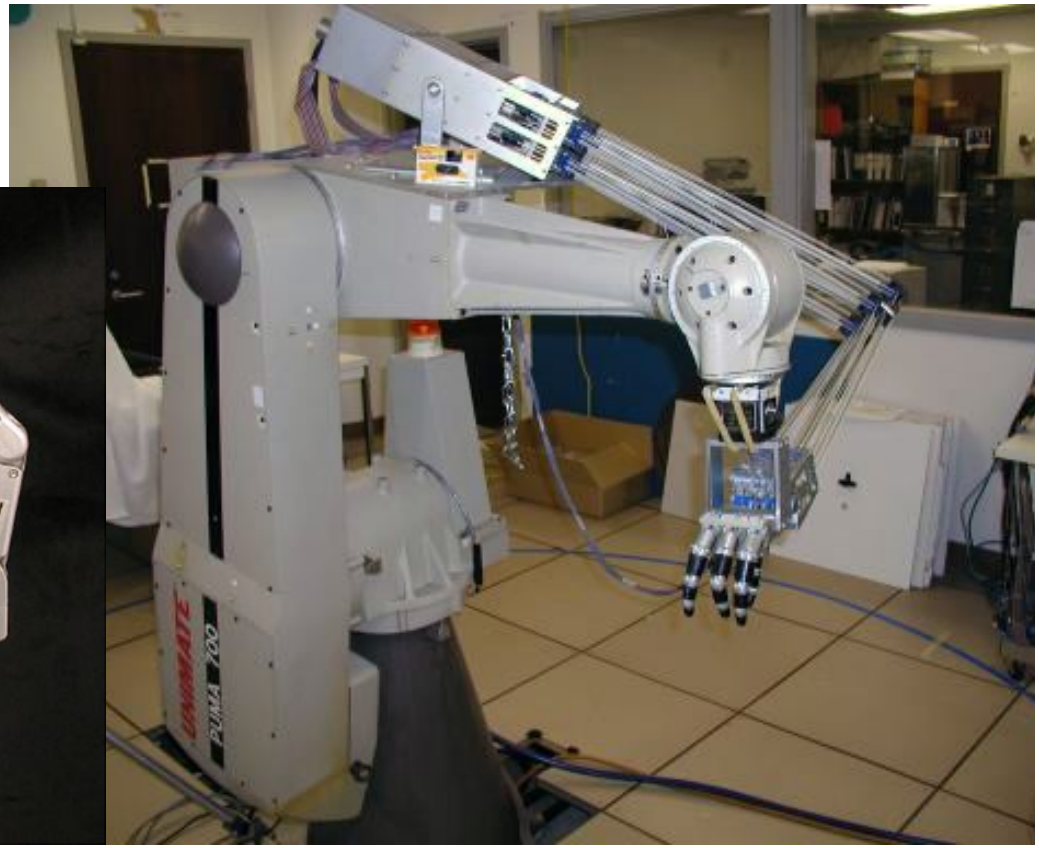
- Wiele manipulatorów będzie sekwencyjnym połączeniem członów i przegubów tworzących „ramię” z wieloma stopniami swobody skupionymi w „kiści”



Przykład końcówki roboczej: Chwytaki

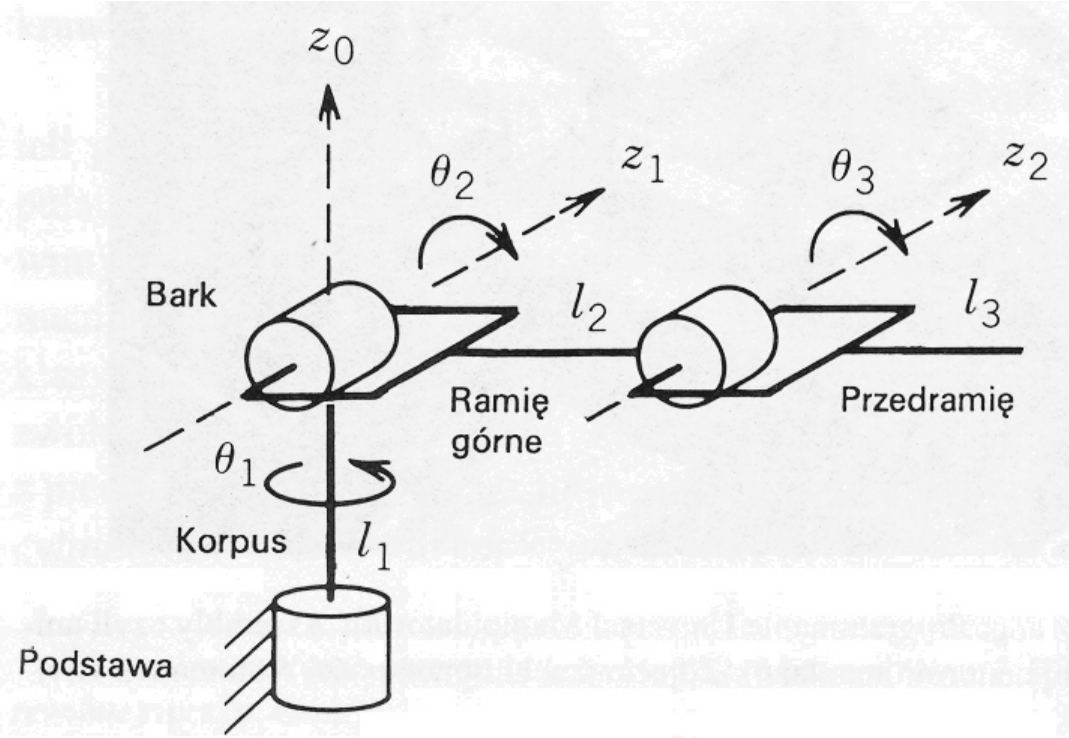
- Antropomorficzne lub zależne od zadania
  - Sterowanie siłą a pozycyjne



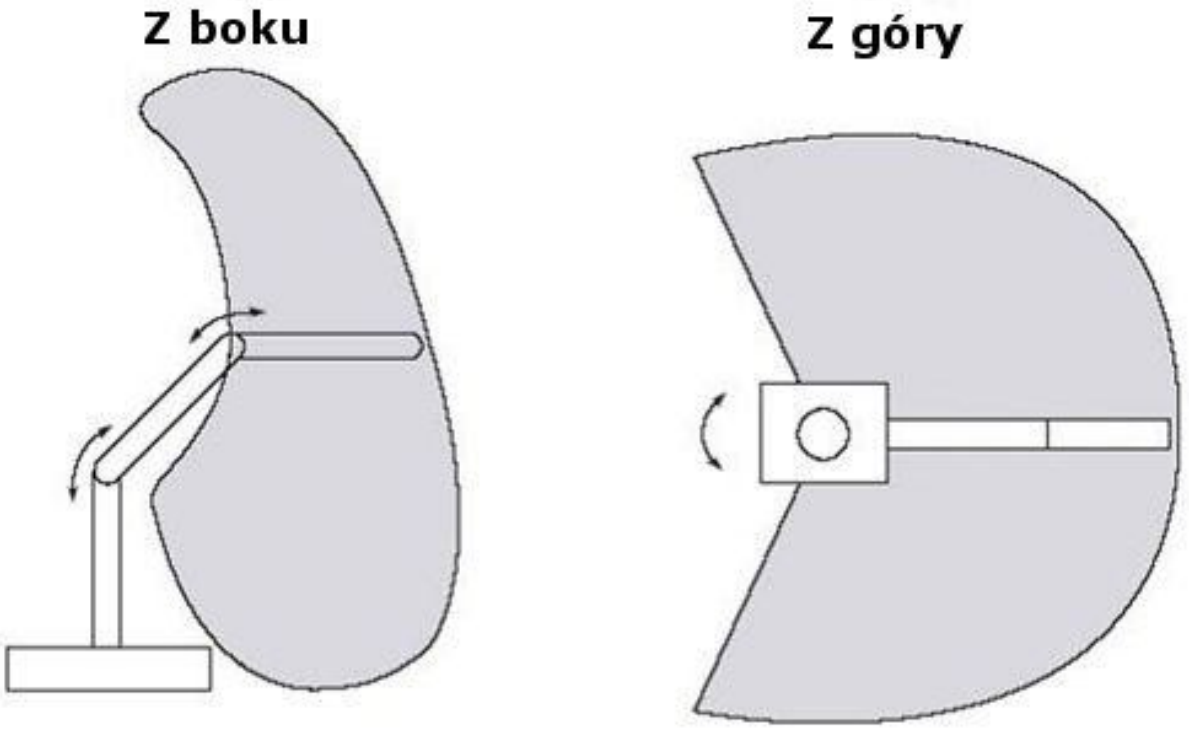


Najczęstsze konfiguracje: manipulator z łokciem

- Ramię antropomorficzne: ABB IRB1400
- Bardzo podobne do ramienia na laboratorium (RRR)

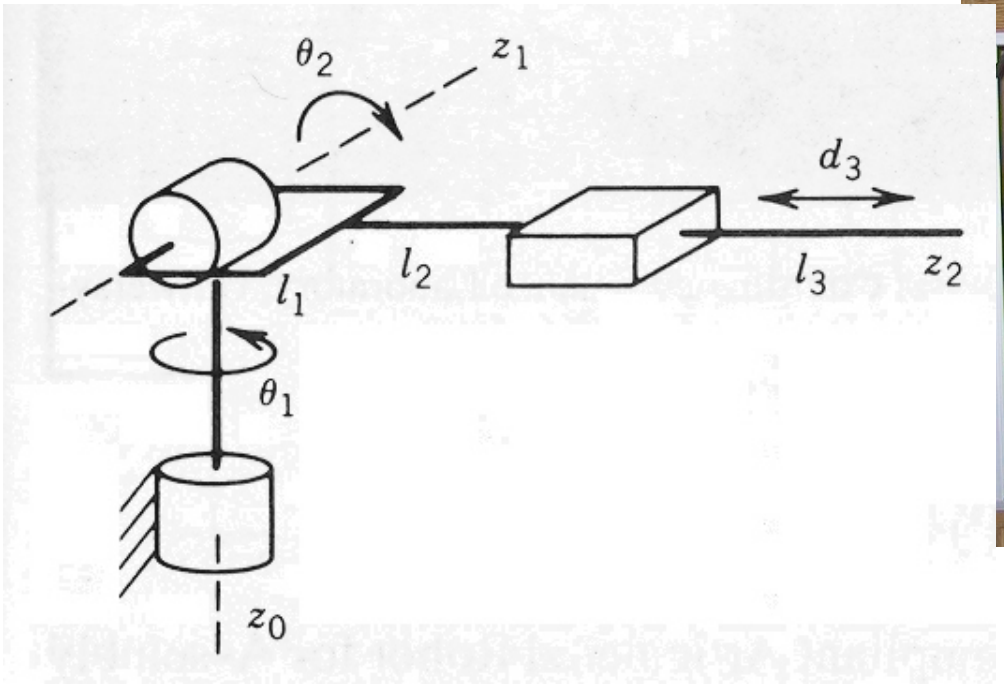


Przestrzeń robocza: manipulator z łokciem

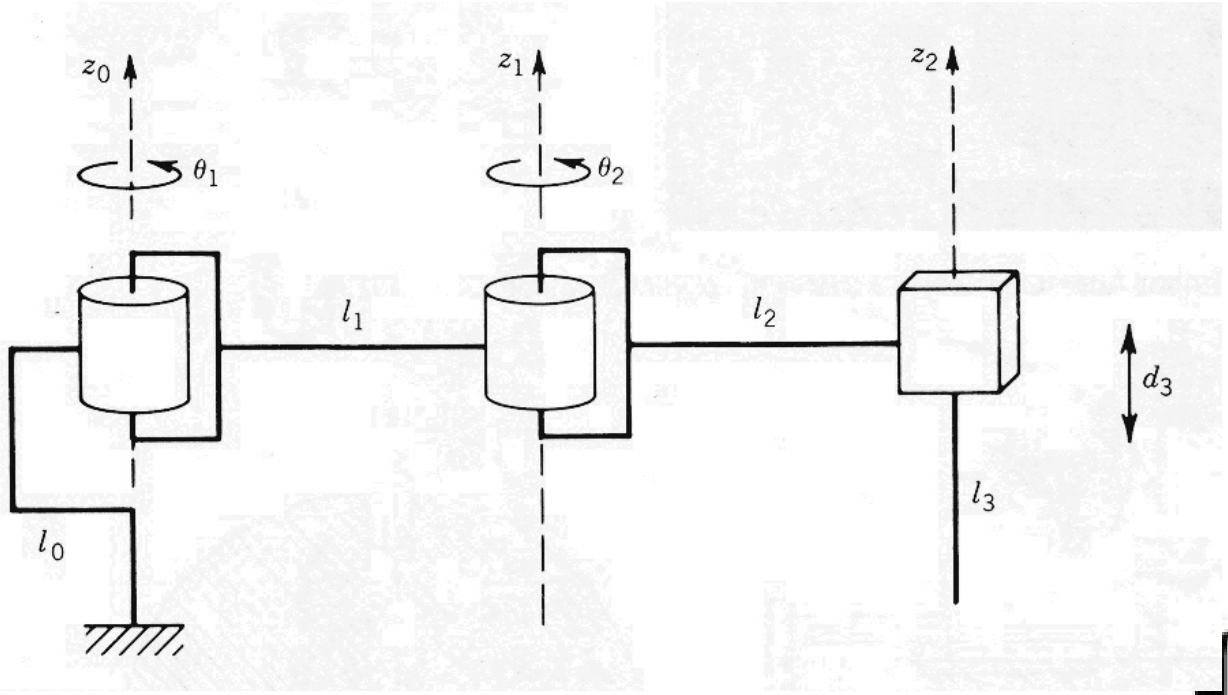


Najczęstsze konfiguracje: ramię stanfordzkie (RRP)

- Manipulator sferyczny (przestrzeń robocza tworzy zbiór koncentrycznych sfer)



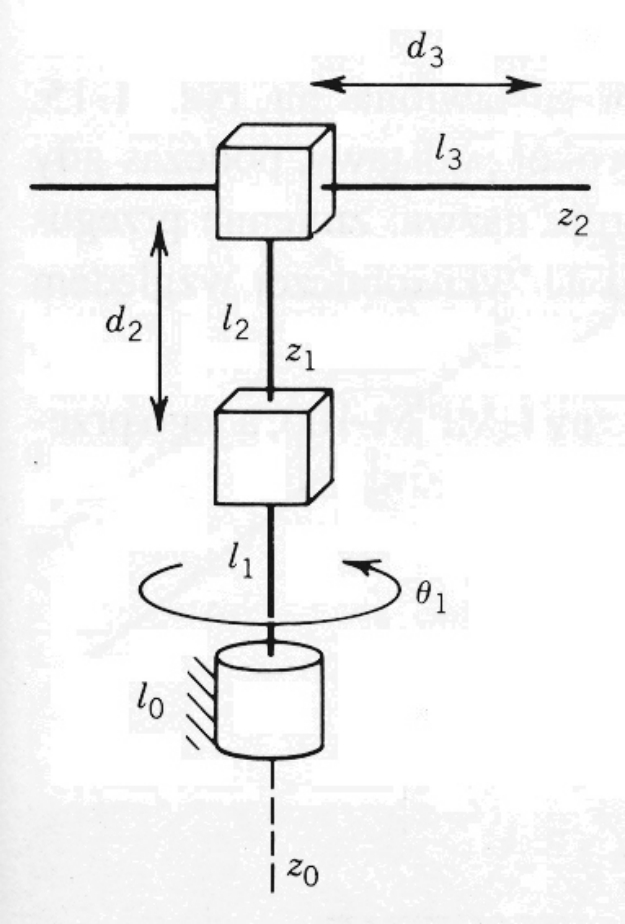
Najczęstsze konfiguracje: SCARA (RRP)



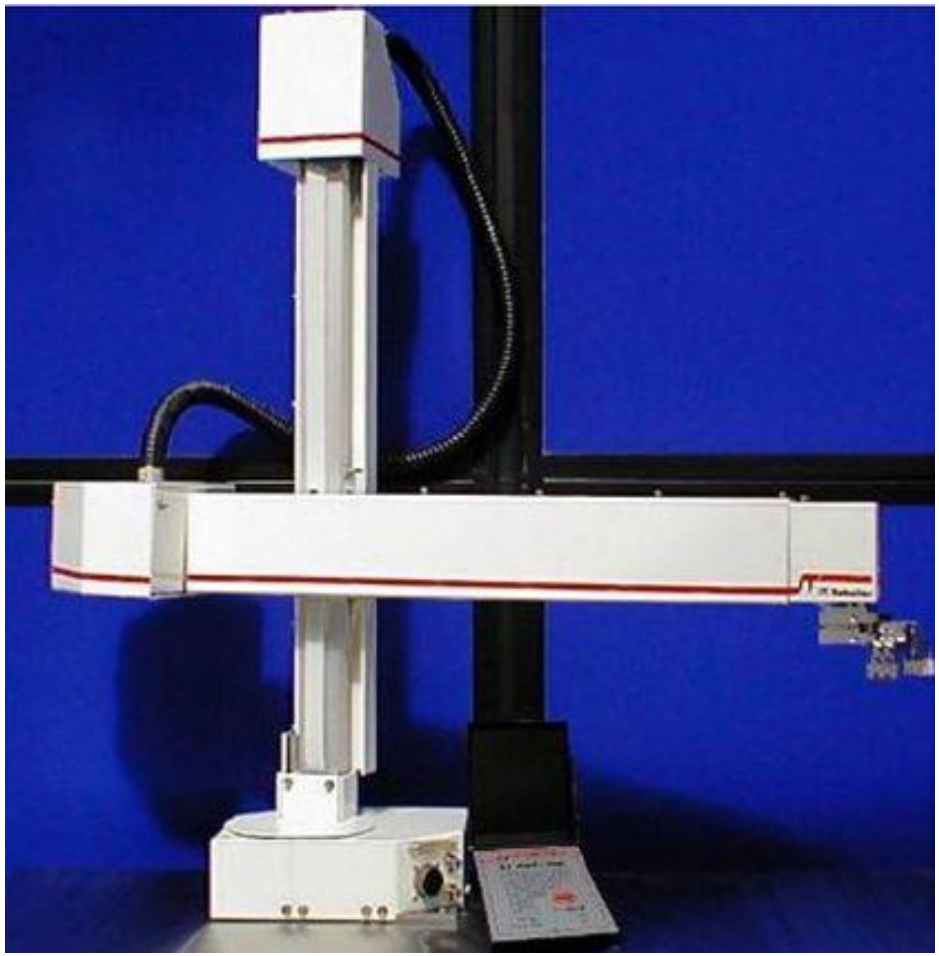
Adept Cobra s600

Najczęstsze konfiguracje: robot cylindryczny (RPP)

- Przestrzeń robocza stanowi walec

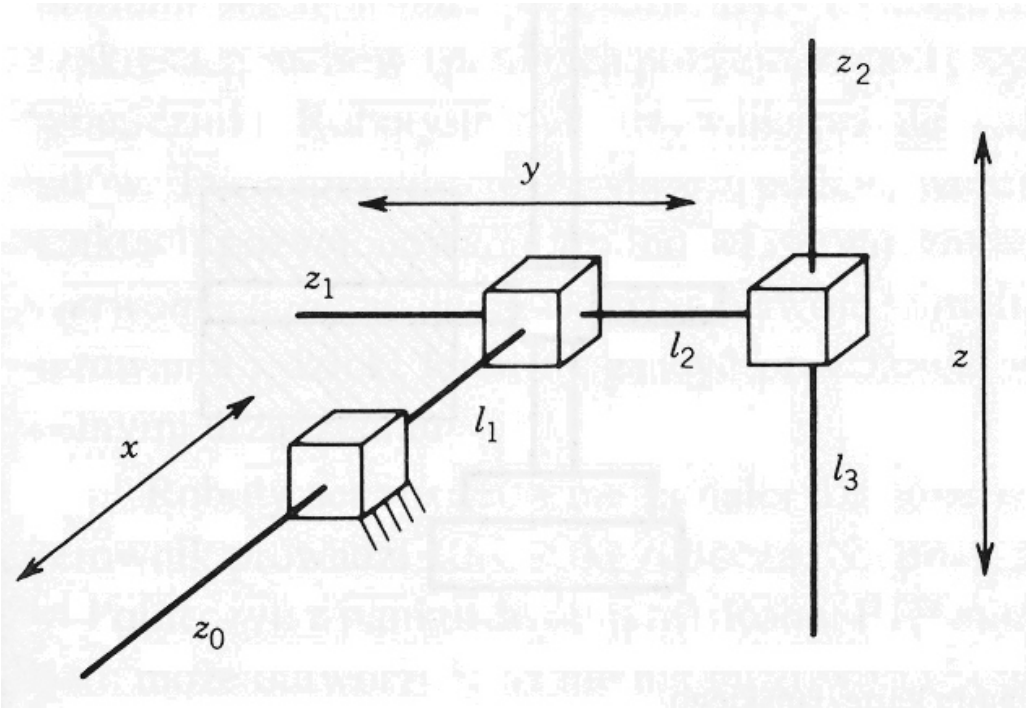


Seiko RT3300



Najczęstsze konfiguracje: robot kartezjański (PPP)

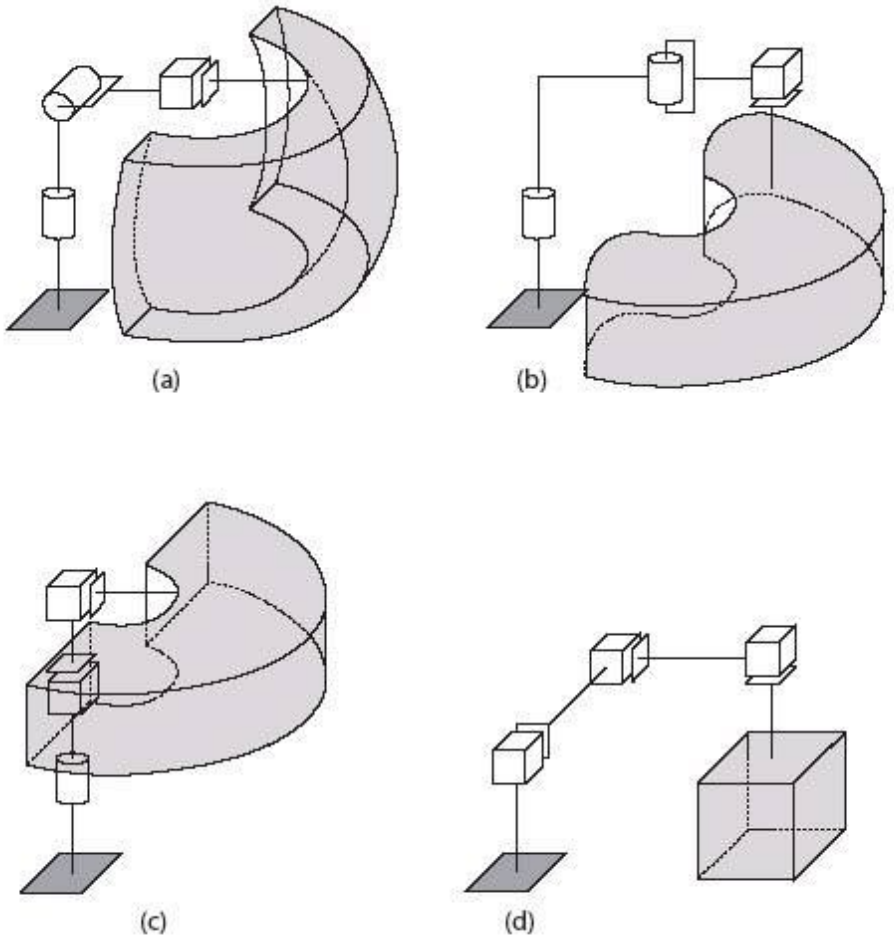
- Zwiększona sztywność struktury, wyższa precyzja
  - Operacje zbierania i sortowania



Epson

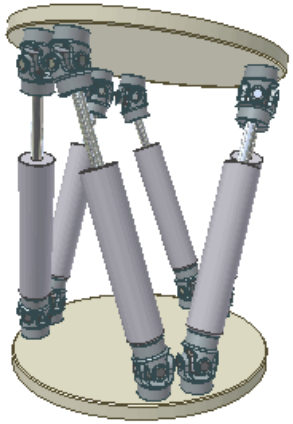
Porównanie przestrzeni roboczych

(a) sferyczna
(b) SCARA
(c) cylindryczna
(d) kartezjańska



Manipulatory równoległe

- Niektóre z członów będą tworzyć łańcuch zamknięty z podłożem
- Zalety:
  - Napędy mogą być proksymalne: o mniejszej mocy, wyższym paśmie, prostsze do sterowania
- Wady:
  - Ogólnie mniej ruchu, kinematyka może stanowić wyzwanie



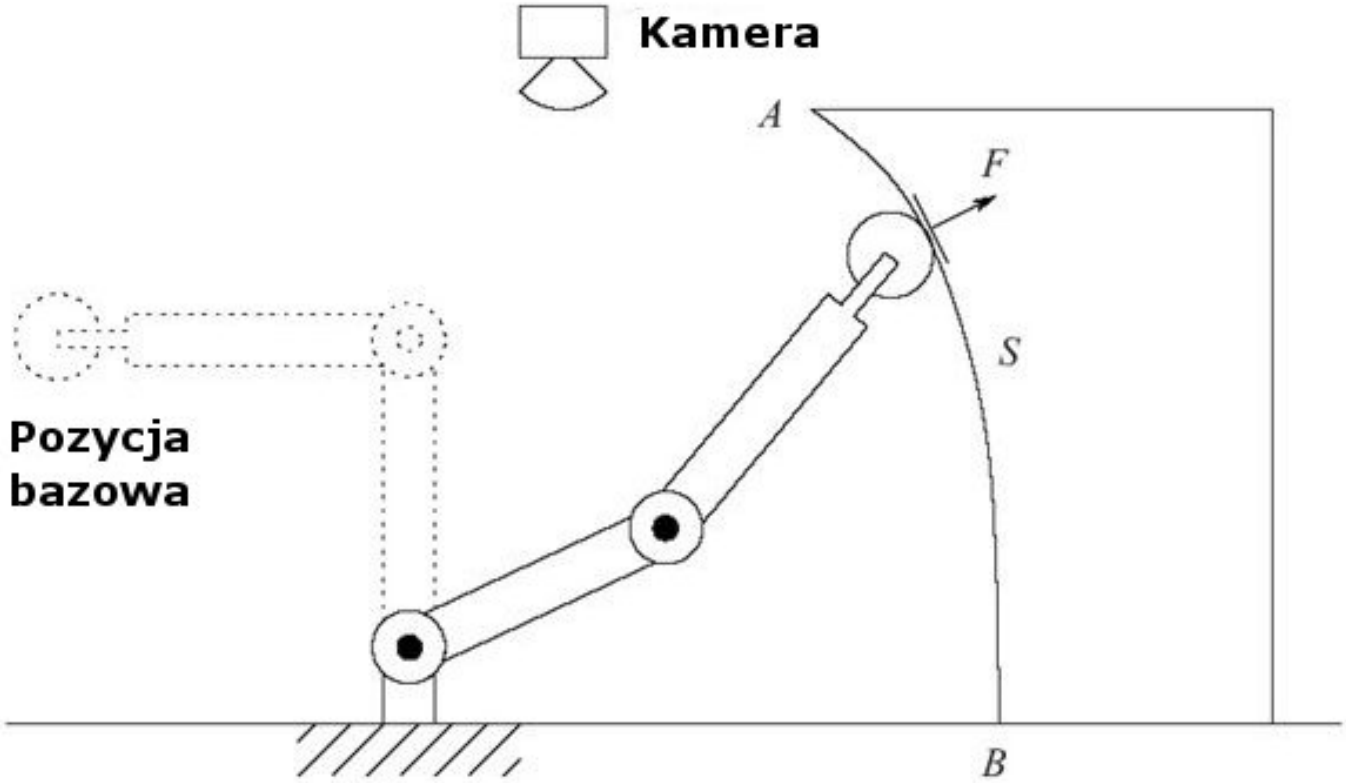
Platforma Stewarta (6DOF)

IRB 6400

IRB 940

Przykład: sterowanie robotem planarnym

- Przesunąć się z pozycji bazowej, podążając ścieżką AB ze stałą siłą docisku *F,* opierając się na sprzężeniu wizyjnym

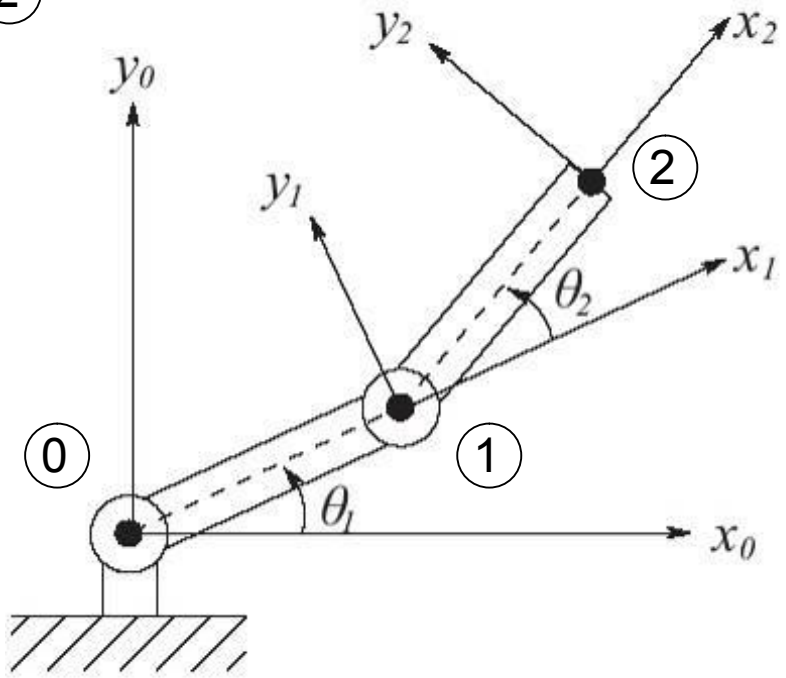


Układy współrzędnych i kinematyka prosta

- Trzy układy współrzędnych: (0) (1) (2)
- Pozycje:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 \cos(\theta_1) \\ a_1 \sin(\theta_1) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 \cos(\theta_1) + a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ a_1 \sin(\theta_1) + a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_t$$



- Orientacja układu narzędzia:

$$\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \hat{y}_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\hat{x}_2 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix}, \hat{y}_2 = \begin{bmatrix} -\sin(\theta_1 + \theta_2) \\ \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix}$$

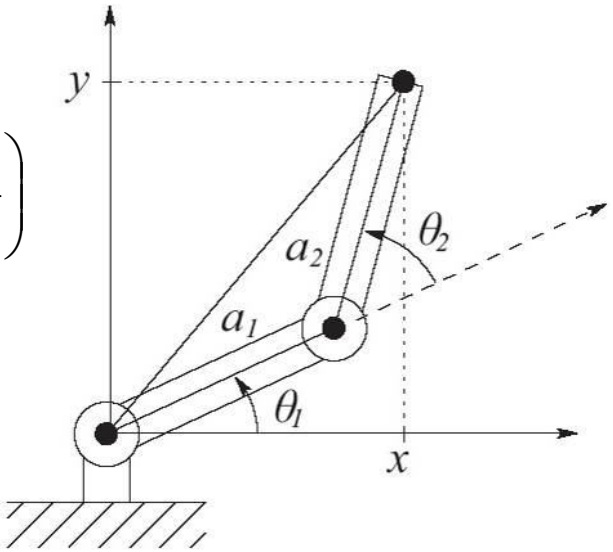
$$R_2^0 = \begin{bmatrix} \hat{x}_2 \cdot \hat{x}_0 & \hat{y}_2 \cdot \hat{x}_0 \\ \hat{x}_2 \cdot \hat{y}_0 & \hat{y}_2 \cdot \hat{y}_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \theta_2) & -\sin(\theta_1 + \theta_2) \\ \sin(\theta_1 + \theta_2) & \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix}$$

Kinematyka odwrotna

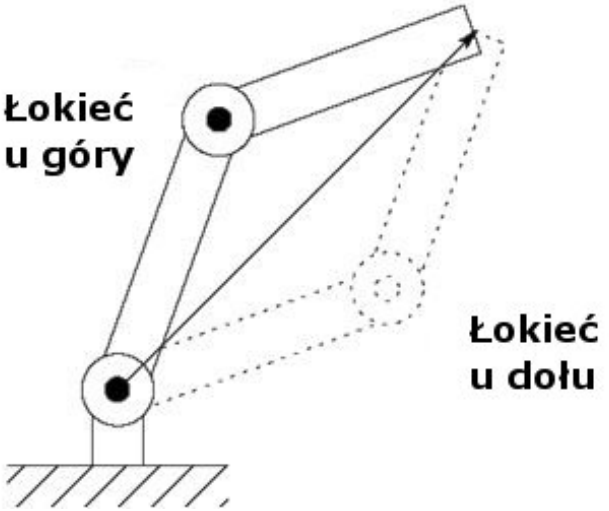
- Wyznaczyć kąty przegubów dla zadanej pozycji narzędzia

$$\cos(\theta_2) = \frac{x_t^2 + y_t^2 - a_1^2 - a_2^2}{2a_1a_2} \equiv D \Rightarrow \sin(\theta_2) = \pm\sqrt{1-D^2}$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\pm\frac{\sqrt{1-D^2}}{D}\right) \quad \theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{a_2\sin(\theta_2)}{a_1 + a_2\cos(\theta_2)}\right)$$



- Dwa rozwiązania!: łokieć u góry i łokieć u dołu



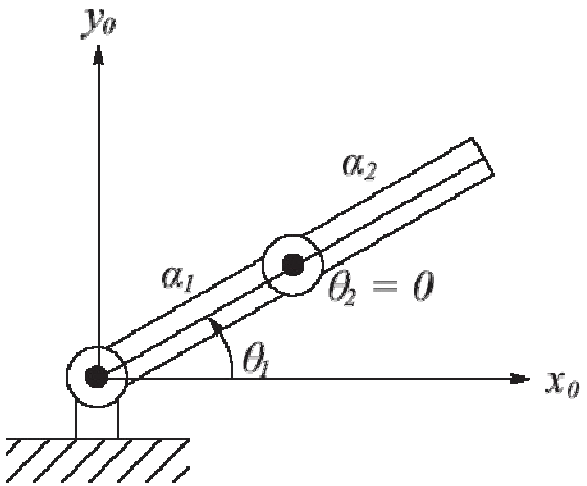
Kinematyka prędkości: jakobian

- Przestrzeń stanów obejmuje prędkość:

$$\begin{bmatrix}\dot{x}_2\\ \dot{y}_2\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}-a_1\sin(\theta_1)\dot{\theta}_1 - a_2\sin(\theta_1+\theta_2)(\dot{\theta}_1+\dot{\theta}_2)\\ a_1\cos(\theta_1)\dot{\theta}_1 + a_2\cos(\theta_1+\theta_2)(\dot{\theta}_1+\dot{\theta}_2)\end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix}-a_1\sin(\theta_1) - a_2\sin(\theta_1+\theta_2) & -a_2\sin(\theta_1+\theta_2)\\ a_1\cos(\theta_1) + a_2\cos(\theta_1+\theta_2) & a_2\cos(\theta_1+\theta_2)\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{\theta}_1\\ \dot{\theta}_2\end{bmatrix}$$

$$= J\dot{\vec{q}}$$



- Odwrotność jakobianu daje prędkości przegubowe

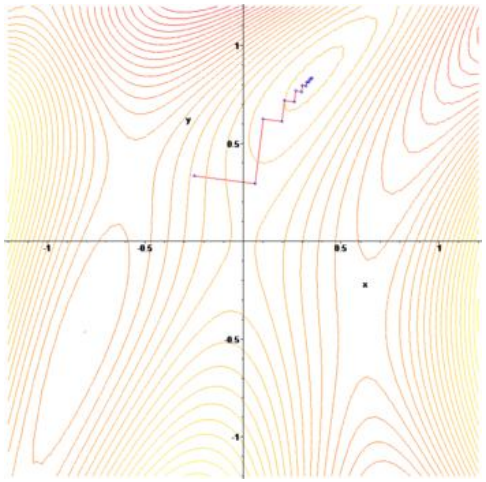
$$\dot{\vec{q}} = J^{-1}\dot{\vec{x}}$$

$$= \frac{1}{a_1 a_2\sin(\theta_2)}\begin{bmatrix}a_2\cos(\theta_1+\theta_2) & a_2\sin(\theta_1+\theta_2)\\ -a_1\cos(\theta_1) - a_2\cos(\theta_1+\theta_2) & -a_1\sin(\theta_1) - a_1\sin(\theta_1+\theta_2)\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{x}\\ \dot{y}\end{bmatrix}$$

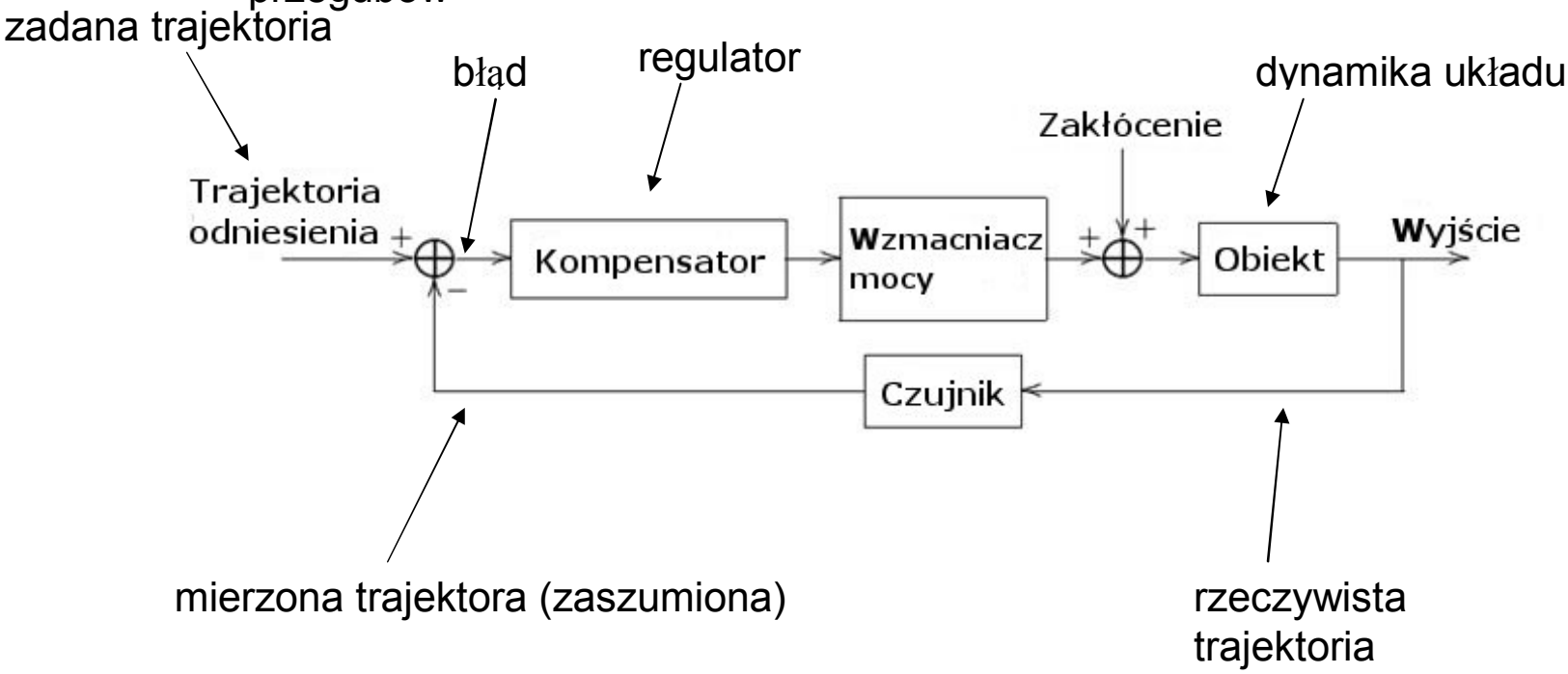
- Odwrotność nie istnieje gdy θ_2 = 0 lub π, co nazywa się konfiguracją osobliwą lub osobliwością

Planowanie ścieżki

- Należy przemieścić narzędzie z pozycji A w pozycję B unikając osobliwości i kolizji.
  - To generuje ścieżkę w przestrzeni roboczej, którą można wykorzystać do określenia kątów przegubów w funkcji czasu (zazwyczaj wielomiany).
  - Wiele metod, np. pola potencjałów.



- Równie dobrze może odnosić się do mobilnych agentów.

Sterowanie przegubami

- Gdy wygeneruje się ścieżkę, można wyznaczyć pożądaną prędkość narzędzia wzdłuż niej
  - Użyj kinematyki odwrotnej i jakobianu aby wyznaczyć pożądane trajektorie przegubów