Seminarium dyplomowe magisterskie

Jakub Postępski

29 listopada 2018

Sterowanie ramieniem robota w obliczu chwytania przedmiotów

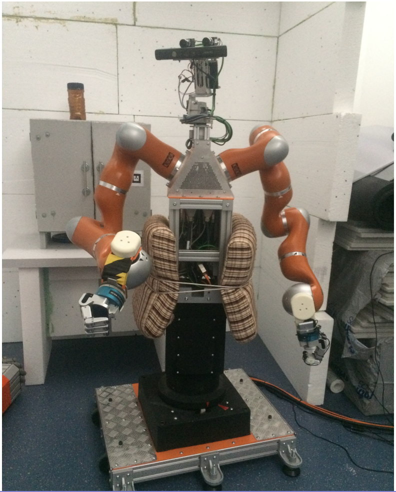
- Dr inż. Tomasz Winiarski

- Sterowanie siłowe
- Odczyty wartości z efektorów i receptorów
- Nieznany model chwytanego obiektu

Robot usługowy Velma

- Dwa manipulatory LWR (sterowanie impedancyjne)
- Chwytaki Barretta (sztuczna skóra, czujniki siły)
- Nadgarstkowe czujniki siły i momentu
- Kinect
- Stereopara
- Komputer sterujący

Zdjęcie robota Velma



Struktura oprogramowania

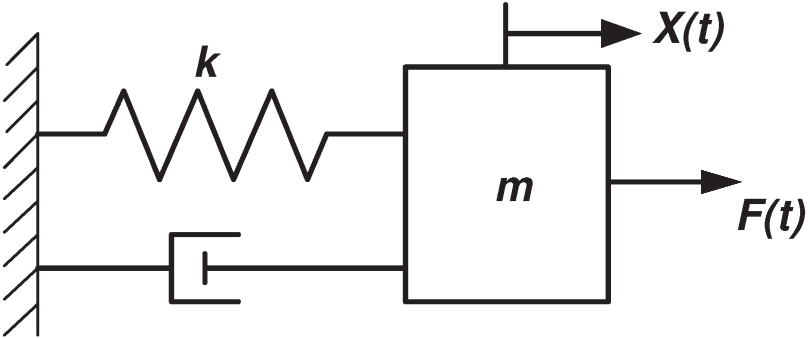
Struktura komponentowa. Częstotliwość pętli sterowania to 500 Hz.

- ROS
- Orocos

Symulator działania z modelem fizyki i symulacją czasu.

- Gazebo
- Dart

Sterowanie impedancyjne



$$F = kx + d\dot{x} + F_{ext} \tag{1}$$

Model robota

Dla członu i-tego mamy:

- Masa m_i
- Tensor bezwładności I_{3x3} (macierz semisymetryczna)
- Macierz inercji M_{xi6x6}

$$M_{xi} = \begin{bmatrix} m_i & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_{xx} & I_{xy} & I_{xz} \\ 0 & 0 & 0 & I_{yx} & I_{yy} & I_{yz} \\ 0 & 0 & 0 & I_{zx} & I_{zy} & I_{zz} \end{bmatrix} \tag{2}$$

Wniosek: Model chwytanego przedmiotu możemy opisać w ten sam sposób.

Estymacja parametrów

Można zastosować optymalizację minimalizującą sumę błędów kolejnych odczytów:

$$e_t = \begin{bmatrix} F_t - \hat{F}_t \\ \tau_t - \hat{\tau}_t \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$\min_{m, M(q)} \sum_{t=1}^{T} ||e_t|| \tag{4}$$

Narzędzia I

Przestrzenie operacyjne:

- Stawów
- Operacyjna

$$\dot{x} = J(q)\dot{q} \tag{5}$$

Narzędzia II

$$\tau = K(q_d - q) + D(\dot{q}) + \hat{M}(q)\ddot{q}_d + \hat{c}(q, \dot{q}) + \hat{g}(q) + \hat{h}(q, \dot{q}) \quad (6)$$

$$M(q) = \sum_{i=0}^{n} J_i^T(q) M_{xi}(q) J_i(q) \quad (7)$$

Narzędzia III

$$\tau = M\ddot{(q)} + b + g \xrightarrow{\bar{J}^T} f = \Lambda\ddot{x} + \mu + p \tag{8}$$

$$\Lambda(q) = (JM^{-1}J^T)^{-1} \tag{9}$$

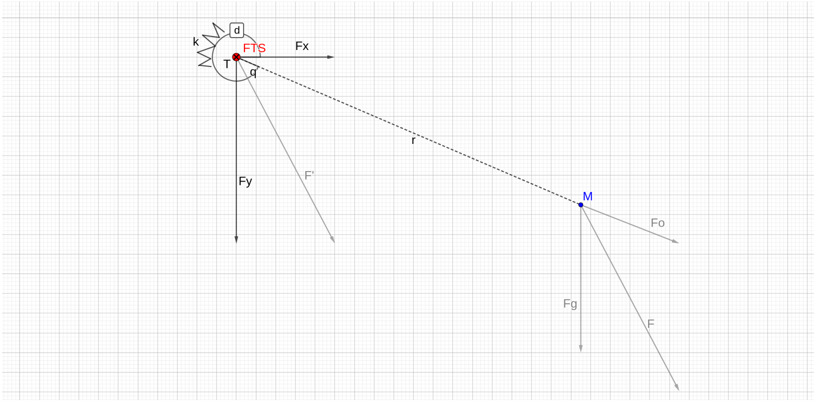
$$\mu(q,\dot{q}) = \bar{J}^T b(q,\dot{q}) - \Lambda\dot{J}\dot{q} \tag{10}$$

$$p(q) = \bar{J}^T g(q) \tag{11}$$

$$\bar{J}^T = \Lambda J M^{-1} \tag{12}$$

$$\tau_i = M_{xi}(q)\ddot{q} + \dot{q} \times M_{xi}(q)\dot{q} \tag{13}$$

Układ I



Układ II

$$\tau = I\ddot{q} = mr^2\ddot{q} = kq + d\dot{q} + mgr\cos(q) + Iu \tag{14}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{q} \\ \ddot{q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{k}{I} & \frac{d}{I} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q \\ \dot{q} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{I} \end{bmatrix} (mgr\cos(q) + \tau_u) \tag{15}$$

W podejściu macierzowym mamy:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{k}{I} & \frac{d}{I} \end{bmatrix} \tag{16}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{17}$$

$$F_y(t) = m(g + \dot{q(t)}^2 r\sin(q(t))) \tag{18}$$

Symulacja

Po zdyskretyzowaniu metodami ZOH:

$$q(t+1) = \mathbf{A_d} q(t) + \mathbf{B}_d u(t) \tag{19}$$

Po zdyskretyzowaniu metodą Eulera:

$$F_y(k) = mg + \sin(q) m (\frac{q(k) - q(k-1)}{T})^2 r \tag{20}$$

$$\tau(k) = kq(k) + d\frac{q(k) - q(k-1)}{T} + I\tau_u(k) + \cos(q(k))mg \tag{21}$$

Zadanie optymalizacji

$$\min_{m,r,I} \quad \sum_{k=1}^{n} ||e(k)|| = \sum_{k=1}^{n} \left|\left| \begin{matrix} F_y\hat{(k)} - F_y(k) \\ \tau\hat{(k)} - \tau(k) \end{matrix} \right|\right|$$

przy ograniczeniach:

$$F_y(k) = m(g + q\dot{(k)}^2 r \sin(q(k))) \qquad (22)$$

$$\tau(k) = I q\ddot{(k)}^2$$

Zadanie jest rozwiązywane algorytmem Levenberga-Marquardta.

Algorytm kompensacji

Chcemy wyeliminować ten człon systemu:

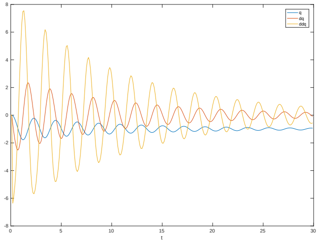
$$\begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{I} \end{bmatrix} \left(mgr \cos\left(q(k)\right) + \tau_u(k) \right) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{23}$$

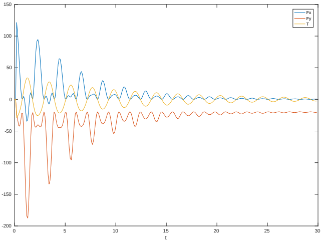
Możemy przyjąć sterowanie:

$$\tau_u(k) = -\frac{mgr \cos\left(q(k)\right)}{I} \tag{24}$$

W celu zapobiegania gwałtownych zmian systemu algorytm załączamy z funkcją aktywacji.

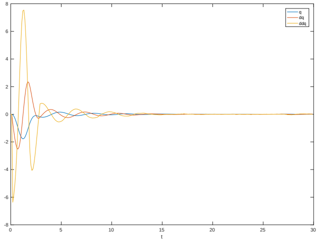
Wynik eksperymentu I

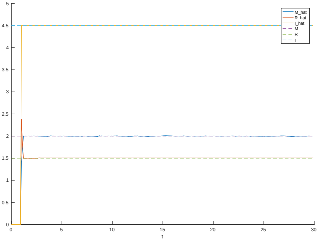




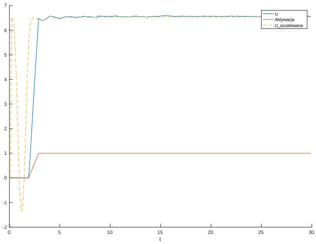
Rysunek: Symulacja układu z parametrami $T = 0.01$, $m = 2$, $r = 1.5$, $k = 16$, $b = 2$. Brak kompensacji grawitacji.

Wynik eksperymentu II





Wynik eksperymentu III



Rysunek: Symulacja układu z parametrami $T = 0.01$, $m = 2$, $r = 1.5$, $k = 16$, $b = 2$. Załączona kompensacja grawitacji.

Bibliografia

- Task-level approaches for the control of constrained multibody systems. *Vincent De Sapio, Oussama Khatib, Scott Delp*.
- System identification: Theory for thee User. *Lennart Ljung*
- https://studywolf.wordpress.com/2013/09/07/robot-control-3-accounting-for-mass-and-gravity/
- Część wiedzy pochodzi z artykułów zespołu np.: Two Mode Impedance Control of Velma Service Robot Redundant Arm. *Tomasz Winiarski, Konrad Banachowicz, Dawid Seredyński*.
- Niektóre zdjęcia pochodzą ze strony https://robotyka.ia.pw.edu.pl

Dziękuję za uwagę