Seminarium dyplomowe magisterskie

Jakub Postępski

5 czerwca 2019

Sterowanie ramieniem robota w obliczu chwytania przedmiotów

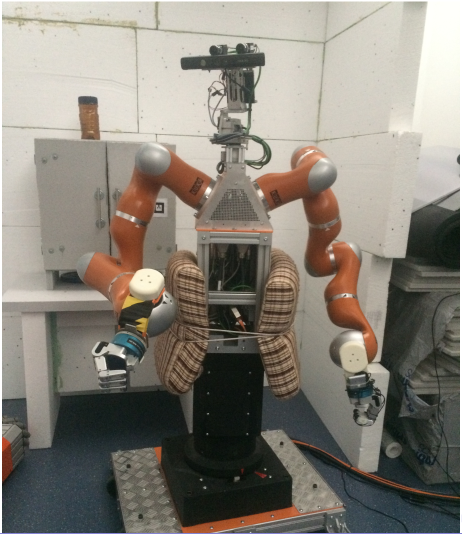
- Dr inż. Tomasz Winiarski

- Sterowanie siłowe
- Odczyty wartości z receptorów i możliwość sterowania efektorami
- Nieznany model chwytanego obiektu

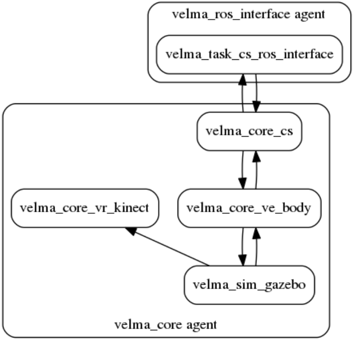
Robot usługowy Velma I

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

Robot usługowy Velma II



Struktura oprogramowania I



Struktura oprogramowania II

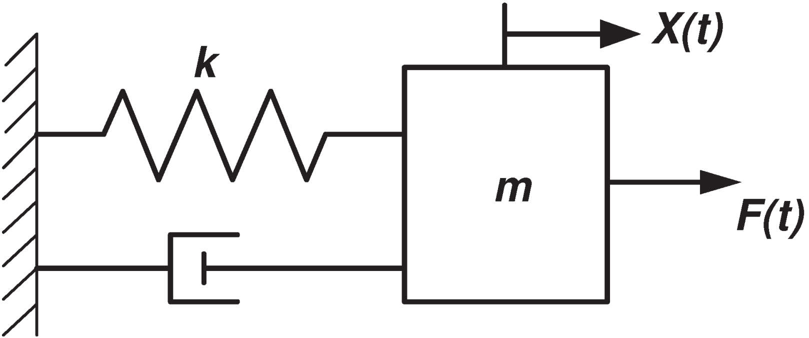
Częstotliwość pętli sterowania to 500 Hz.

- ROS
- Orocos

Symulator działania z modelem fizyki i symulacją czasu.

- Gazebo
- Dart

Sterowanie impedancyjne I



Sterowanie impedancyjne II

Uproszczone prawo sterowania:

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

Prawo sterowania w przestrzeni stawów:

$$\tau = K[q_d - q] + D[\dot{q}] + \hat{M}(q)\ddot{q}_d + \hat{c}(q, \dot{q}) + \hat{g}(q) + \hat{h}(q, \dot{q}) \tag{2}$$

- τ Moment
- K Sprężystość
- D Tłumienie
- M Macierz inercji
- c Siła Coriollisa
- g Grawitacja
- h Pozostałe siły

Model robota

Dla członu i-tego mamy:

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

$$M_{xi} = \begin{bmatrix} m_i & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_{xx} & I_{xy} & I_{xz} \\ 0 & 0 & 0 & I_{yx} & I_{yy} & I_{yz} \\ 0 & 0 & 0 & I_{zx} & I_{zy} & I_{zz} \end{bmatrix} \tag{3}$$

Dla wszstkich członów razem mamy macierz $M(q)$ opisującą inercję w przestrzeni stawów.

Wniosek: Model chwytanego przedmiotu możemy opisać w ten sam sposób co kolejne człony robota.

Algorytm kompensacji

- Wykrycie parametrów modelu
- Dopisanie odpowiednich momentów do prawa sterowania

Estymacja parametrów

Można zastosować optymalizację minimalizującą sumę błędów kolejnych odczytów:

$$e(t) = \begin{bmatrix} F(t) - \hat{F(t)} \\ \tau(t) - \hat{\tau(t)} \end{bmatrix} \tag{4}$$

$$\min_{m,M(q)} \sum_{t=1}^{T} ||e(t)|| \tag{5}$$

Narzędzia I

Przestrzenie:

- Stawów
- Operacyjna

$$\dot{x} = J(q)\dot{q} \tag{6}$$

- x Współrzędne przestrzeni operacyjnej
- q Współrzędne przestrzeni stawów
- J Jakobian

Narzędzia II

$$\tau_i = M_{xi}(q)\ddot{q} + \dot{q} \times M_{xi}(q)\dot{q} \tag{7}$$

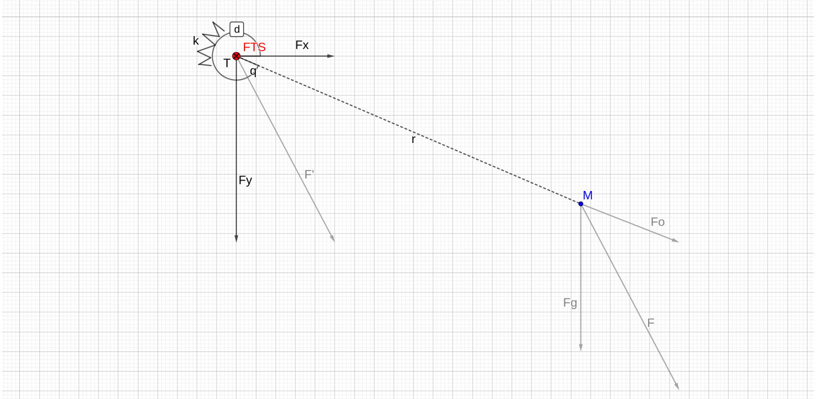
$$M(q) = \sum_{i=0}^{n} J_i^T(q) M_{xi}(q) J_i(q) \tag{8}$$

- τ_i Moment w i-tym stawie
- M_{xi} Macierz inercji i-tego stawu
- J_i Jakobian i-tego stawu

Narzędzia III

$$\tau = M\ddot{(q)} + b(q,\dot{q}) + g(q) \xrightarrow{J^T} f = \Lambda\ddot{x} + \mu(q,\dot{q}) + p(q) \tag{9}$$

Układ I



Układ II

$$\tau = I\ddot{q} = mr^2\ddot{q} = kq + d\dot{q} + mgr\cos(q) + Iu \tag{10}$$

$$\begin{bmatrix}\dot{q}\\ \ddot{q}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0 & 1\\ \frac{k}{I} & \frac{d}{I}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}q\\ \dot{q}\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}0\\ \frac{1}{I}\end{bmatrix}(mgr\cos(q) + \tau_u) \tag{11}$$

W podejściu macierzowym mamy:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix}0 & 1\\ \frac{k}{I} & \frac{d}{I}\end{bmatrix} \tag{12}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix}0\\ 1\end{bmatrix} \tag{13}$$

$$F_y(t) = m(g + q\dot{(t)}^2 r\sin(q(t))) \tag{14}$$

Symulacja

Po zdyskretyzowaniu metodami ZOH:

$$q(t+1) = \mathbf{A_d} q(t) + \mathbf{B}_d u(t) \tag{15}$$

Po zdyskretyzowaniu metodą Eulera:

$$F_y(t) = mg + \sin(q) m (\frac{q(t) - q(t-1)}{T})^2 r \tag{16}$$

$$\tau(t) = kq(t) + d\frac{q(t) - q(t-1)}{T} + I\tau_u(t) + \cos(q(t))mg \tag{17}$$

Zadanie optymalizacji

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

przy ograniczeniach:

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

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

Zadanie jest rozwiązywane algorytmem Levenberga-Marquardta.

Algorytm kompensacji

Chcemy wyeliminować ten człon systemu:

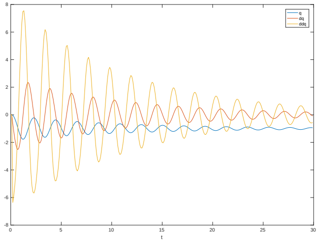
$$\begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{I} \end{bmatrix} \left(mgr\cos\left(q(t)\right) + \tau_u(t) \right) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{19}$$

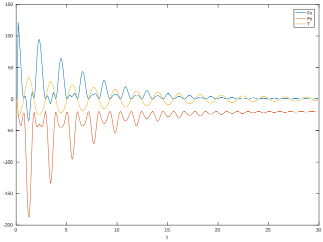
Możemy przyjąć sterowanie:

$$\tau_u(t) = -\frac{mgr\cos\left(q(t)\right)}{I} \tag{20}$$

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

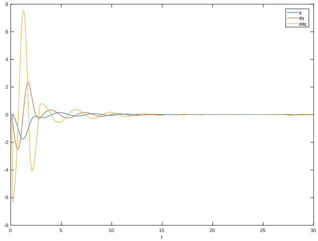
Wynik eksperymentu I

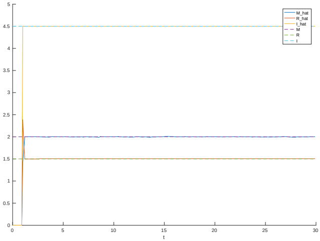




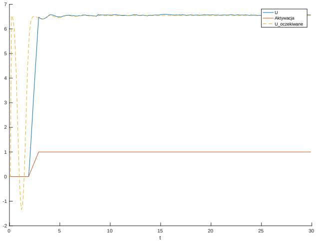
Rysunek: Symulacja układu z parametrami $T = 0.01$, $m = 2$, $r = 1.5$, $k = 16$, $b = 2$. Brak kompensacji grawitacji.

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/`
- Modelling and Control of Robot Manipulators. *L. Sciavicco, B. Siciliano*
- 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