

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО»

Практическая работа №5
«Базовый синтез управления»
по дисциплине «Моделирование и управление робототехническими системами»

Выполнил:
студент гр. R41341с
Борисов М. В.

Преподаватель:
Каканов М. А.

Санкт-Петербург
2021 г.

Дано

Модель двухзвенного робота

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + F\dot{q} + G(q) = u, \quad (1)$$

где q , \dot{q} , \ddot{q} — векторы обобщённых координат, скоростей и ускорений соответственно, u — вектор управляющих воздействий, $M(q)$, $C(q, \dot{q})$, F — матрицы инерции, кориолисовых-центробежных сил и вязкого трения соответственно, $G(q)$ — вектор гравитационных сил.

Задающий сигнал

$$q_{\text{ref}}(t) = \begin{bmatrix} A_{\text{ref}, 1} \sin(\omega_{\text{ref}, 1}t + \psi_{\text{ref}, 1}) \\ A_{\text{ref}, 2} \sin(\omega_{\text{ref}, 2}t + \psi_{\text{ref}, 2}) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Цель управления

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |q_e(t)| = 0, \quad (3)$$

где $q_e(t) = q(t) - q_{\text{ref}}(t)$ — сигнал ошибки.

Задание

Задание 1 Управление роботом по состоянию

Допущение 1 Вектор обобщённых скоростей $\dot{q}(t)$ доступен измерению.

Допущение 2 Матрицы $M(q)$, $C(q, \dot{q})$, F , $G(q)$ известны.

Закон управления

$$u = M(q) (\ddot{q}_{\text{ref}} - K_p q_e - K_d \dot{q}_e) + C(q, \dot{q})\dot{q} + F\dot{q} + G(q), \quad (4)$$

где K_p и K_d — соответственно матрицы пропорциональных и дифференциальных коэффициентов.

Требуется провести численное моделирование замкнутой системы (1), (4) в режиме слежения за траекторией (2) с обеспечением цели управления (3).

Задание 2 Управление роботом по выходу

Ослабим Допущение 1 и построим регулятор по выходу. Выберем закон управления

$$u = M(q) \left(\ddot{q}_{\text{ref}} - K_p q_e - K_d (\dot{\hat{q}} - \dot{q}_{\text{ref}}) \right) + C(q, \dot{\hat{q}}) \dot{\hat{q}} + F \dot{\hat{q}} + G(q), \quad (5)$$

где K_p и K_d — соответственно матрицы пропорциональных и дифференциальных коэффициентов, \hat{q} — оценка обобщённой скорости, полученная с помощью фильтра на базе расширенного наблюдателя.

Требуется провести численное моделирование замкнутой системы (1), (5) в режиме слежения за траекторией (2) с обеспечением цели управления (3).

Моделирование

Задание 1

В пакете MATLAB соберём систему (1), (4) в виде модели Simulink.

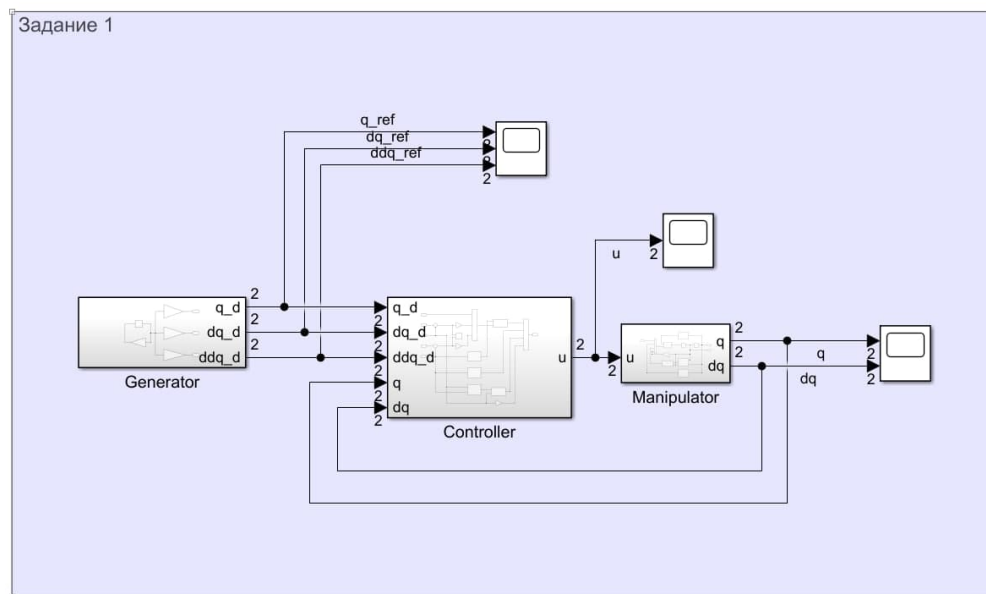


Рис. 1: Общий вид модели в MATLAB

Инициализация всех параметров производится с помощью автоматически вызываемой встроенной функции `InitFcn`, где перечислены необходимые переменные (см. Приложение А).

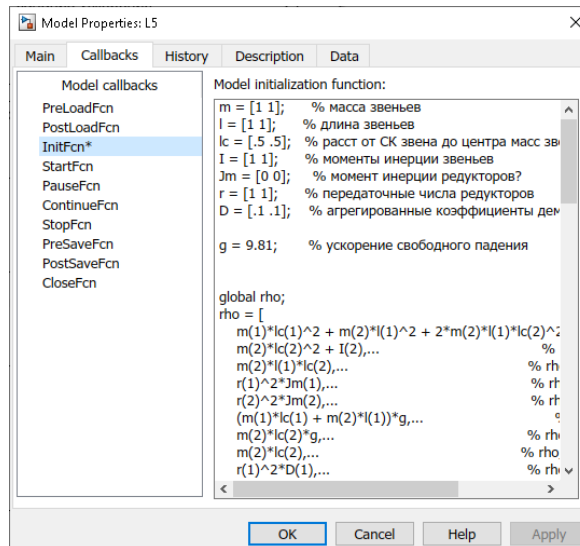


Рис. 2: Окно InitFcn

Модель манипулятора представлена на рисунке 3, где матрицы $M(q)$, $C(q, \dot{q})$, $G(q)$ представлены блоками MATLAB Function. (см. Приложение Б)

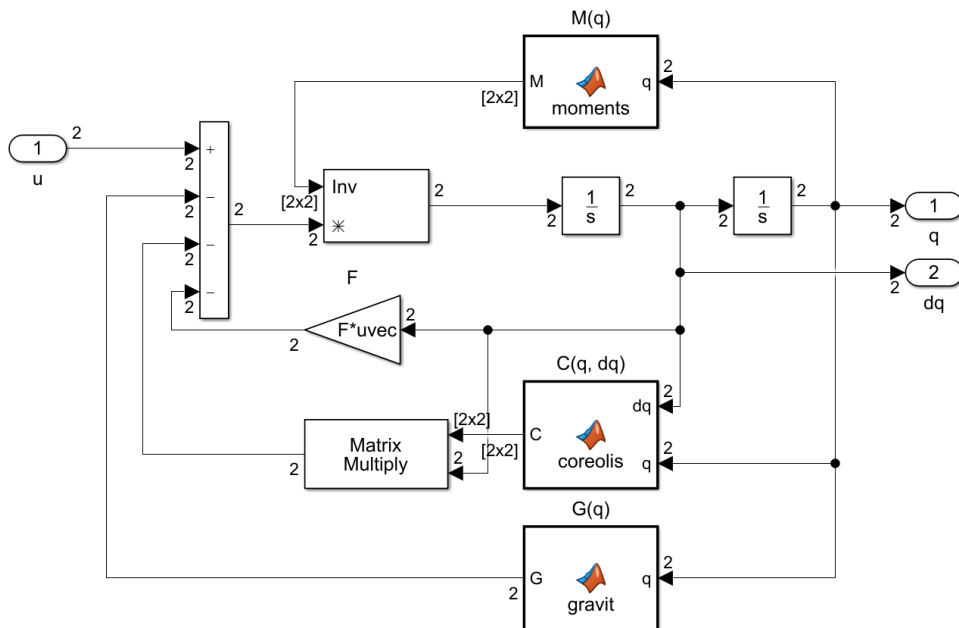


Рис. 3: Модель манипулятора

Модель регулятора представлена на рисунке 4, при этом по допущению 2 мы можем использовать матрицы напрямую, которые представлены уже показанными блоками функций.



Block diagram of the reference current generation system. The system consists of a feedback loop and three parallel reference current paths.

- Feedback Loop:** The output of the system is fed back through a summing junction, an integrator block ($\frac{1}{s}$), and a gain block ($S_{ref} * u_{vec}$) to the summing junction.
- Reference Current Paths:** The output of the integrator is split into three parallel paths, each passing through a transfer function block:
 - $H_{ref_p} * u_{vec}$ (output: q_d)
 - $H_{ref_v} * u_{vec}$ (output: dq_d)
 - $H_{ref_a} * u_{vec}$ (output: ddq_d)

Рис. 5: Модель задающего воздействия

Результат моделирования представлен на рисунке 6. По графику очевидно, что ошибка положения звеньев сходится к нулю и соответственно цель моделирования (3) выполнена.

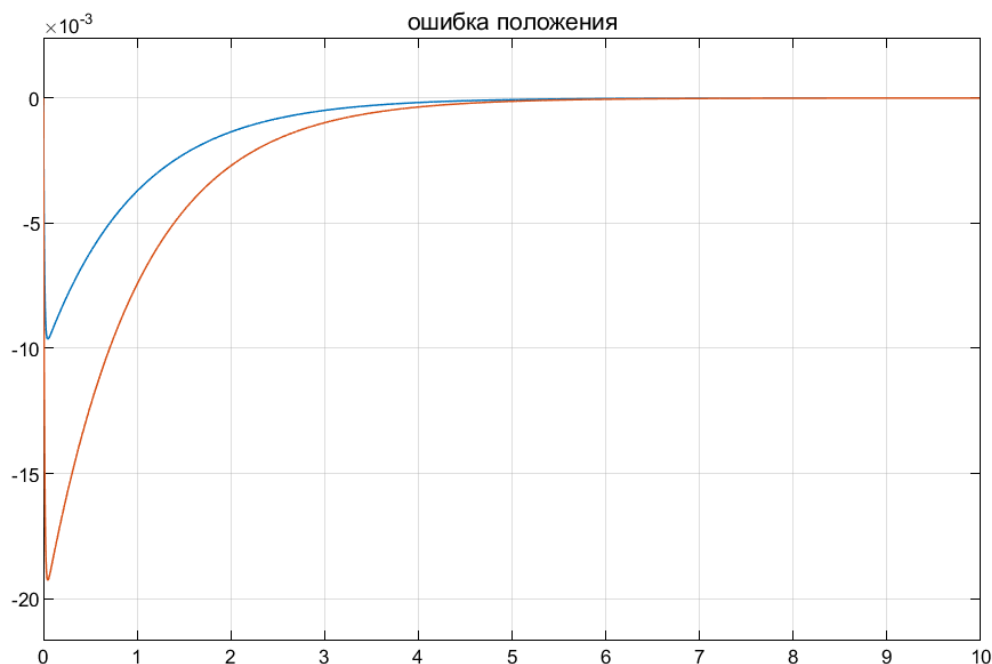


Рис. 6: Ошибка положения системы

Задание 2

Ослабив допущение 1 мы более не имеем возможности напрямую измерять скорость звеньев манипулятора и модель изменяется соответственно.

В блок регулятора (рисунок 8) добавляется расширенный наблюдатель, представленный на рисунке 7, задача которого давать оценку вектора обобщённой скорости.

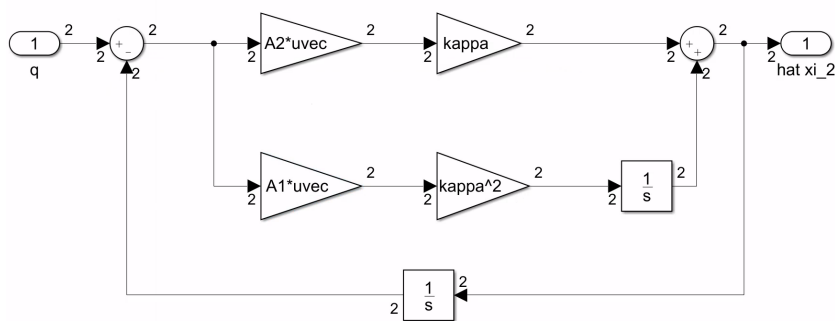


Рис. 7: Модель расширенного наблюдателя

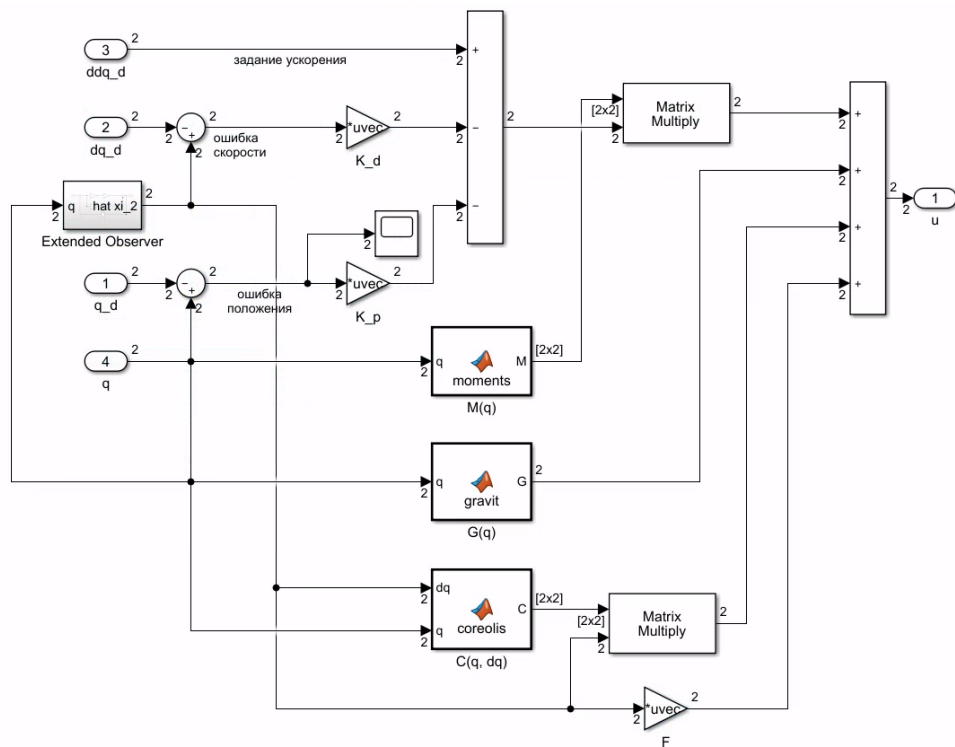


Рис. 8: Модель регулятора с расширенным наблюдателем

Результат моделирования представлен на рисунке 9. По графику очевидно, что ошибка положения звеньев сходится к нулю и соответственно цель моделирования (3) выполнена.

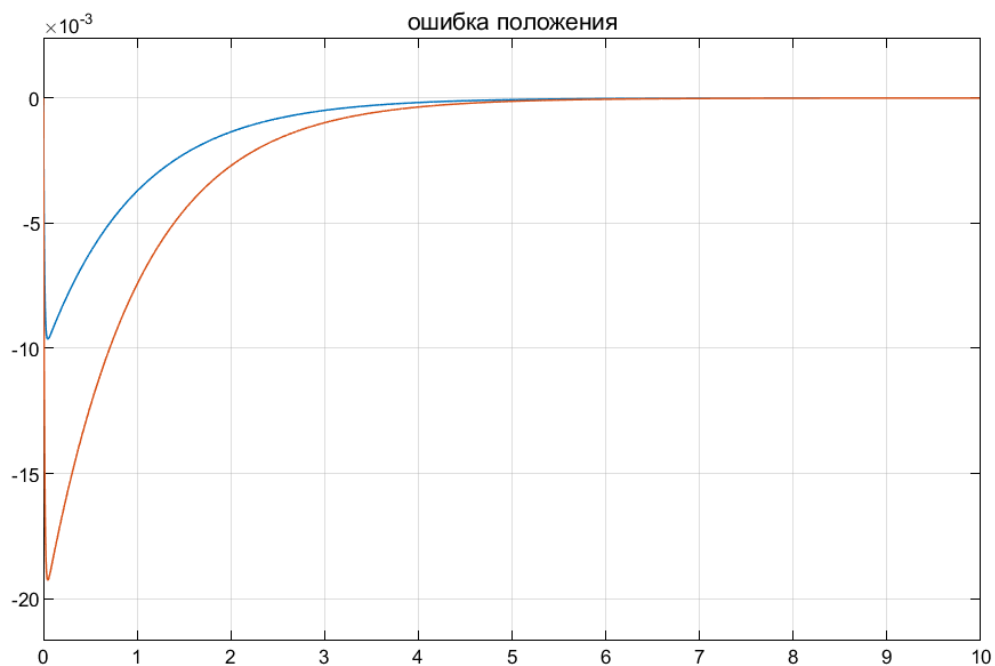


Рис. 9: Ошибка положения системы

Вывод

В работе было промоделировано управление двухзвенным манипулятором с помощью ПД-регулятора. Результаты моделирования показывают, что использование расширенного наблюдателя в системе без обратной связи по скорости позволяет успешно управлять объектом и ошибка положения сходится к нулю так же как и при возможности измерения скорости.

Приложение А. Параметры инициализации

```
1  m = [1 1];           % масса звеньев
2  l = [1 1];           % длина звеньев
3  lc = [.5 .5];        % расст от СК звена до центра масс звена
4  I = [1 1];           % моменты инерции звеньев
5  Jm = [0 0];          % момент инерции редукторов?
6  r = [1 1];           % передаточные числа редукторов
7  D = [.1 .1];         % агрегированные коэффициенты демпфирования
8
9  g = 9.81;            % ускорение свободного падения
10
11
12  global rho;
13  rho = [
14      m(1)*lc(1)^2 + m(2)*l(1)^2 + 2*m(2)*l(1)*lc(2)^2 + I(1),... %
      ↪ rho_1
15      m(2)*lc(2)^2 + I(2),... % rho_2
16      m(2)*l(1)*lc(2),... % rho_3
17      r(1)^2*Jm(1),... % rho_4
18      r(2)^2*Jm(2),... % rho_5
19      (m(1)*lc(1) + m(2)*l(1))*g,... % rho_6
20      m(2)*lc(2)*g,... % rho_7
21      m(2)*lc(2),... % rho_8
22      r(1)^2*D(1),... % rho_9
23      r(2)^2*D(2) % rho_10
24  ];
25
26
27  % матрица вязкого трения
28  F = [
29      rho(9) 0;
30      0 rho(10)
31  ];
32
33  A_ref = [1 1];        % амплитуды
34  psi_ref = [0 0];      % фазы
35  omega_ref = [1 2];    % частоты
36
37  w_ref_0 = [
38      A_ref(1)*sin(psi_ref(1)),...
39      omega_ref(1)*A_ref(1)*cos(psi_ref(1)),...
40      A_ref(2)*sin(psi_ref(2)),...
41      omega_ref(2)*A_ref(2)*cos(psi_ref(2))
42  ];
43
44  Sref1 = [
45      0 1;
```

```

46     -omega_ref(1)^2 0
47 ];
48 Sref2 = [
49     0 1;
50     -omega_ref(2)^2 0
51 ];
52
53 Sref = blkdiag(Sref1, Sref2);
54
55 H_ref_p1 = [1 0];
56 H_ref_p2 = [1 0];
57 H_ref_p = blkdiag(H_ref_p1, H_ref_p2);
58
59 H_ref_v1 = [0 1];
60 H_ref_v2 = [0 1];
61 H_ref_v = blkdiag(H_ref_v1, H_ref_v2);
62
63 H_ref_a1 = [-omega_ref(1)^2 0];
64 H_ref_a2 = [-omega_ref(2)^2 0];
65 H_ref_a = blkdiag(H_ref_a1, H_ref_a2);
66
67 k_p = [100 100];
68 K_p = diag(k_p);
69
70 k_d = [100 100];
71 K_d = diag(k_d);
72
73 kappa = 1000;
74
75 A1 = [
76     10 1;
77     1 10
78 ];
79 A2 = [
80     20 2;
81     2 20
82 ];
83
84 A = [
85     -A2 eye(size(A2));
86     -A1 zeros(size(A1))
87 ];
88
89 % остальные матрицы зависят от q и объявлены функциями

```

Приложение Б. Блоки расчёта матриц

```
1  function M = moments(q)
2      global rho;
3      c2 = cos(q(2));
4      M = [
5          rho(1) + rho(2) + 2*rho(3)*c2 + rho(4)  rho(2) + rho(3)*c2;
6          rho(2) + rho(3)*c2  rho(2) + rho(5);
7      ];
8  end
9
10 function C = coreolis(dq, q)
11     global rho;
12     s2 = sin(q(2));
13     C = [
14         -rho(3)*s2*dq(2)  -rho(3)*s2*(dq(1) + dq(2));
15         rho(3)*s2*dq(1)  0
16     ];
17 end
18
19 function G = gravit(q)
20     global rho;
21     c1 = cos(q(1));
22     c12 = cos(q(1) + q(2));
23     G = [
24         rho(6)*c1 + rho(7)*c12;
25         rho(8)*c12
26     ];
27 end
```