

## Отчёт о выполнении домашней работы

В ходе выполнения домашней работы была реализована симуляция контроля с обратной динамикой в пространстве заданий.

Контроль в пространстве состояний задаётся по следующей формуле:

$$\tau = M(q)\ddot{q} + h(q, \dot{q}),$$

где  $M(q)$  — матрица массы, а  $h(q, \dot{q})$  — вектор всех нелинейных эффектов, воздействующих на манипулятор.

Зададим  $\tau$  так, чтобы компенсировать возможные нелинейности:

$$\tau = M(q)v + h(q, \dot{q})$$

Поскольку матрица  $M(q)$  обратима,  $a_q = \ddot{q} = v$

Для задания управления для достижения желаемого состояния в пространстве заданий нам нужно модифицировать  $a_q$  следующим образом:

$$a_q = J^{-1}(q) \left\{ \begin{bmatrix} a_x \\ a_\omega \end{bmatrix} - j(q)\dot{q} \right\},$$

где  $J$  — матрица Якоби,  $a_x$  и  $a_\omega$  — линейное и угловое ускорения.

$\begin{bmatrix} a_x \\ a_\omega \end{bmatrix}$  — входные параметры управления  $v$ . Их можно задать как

$$v = \ddot{q}_d(t) + k_d\dot{\tilde{q}} + k_p\tilde{q}$$

$\tilde{q}$  — ошибка позы, состоящая из двух частей: ошибки положения и ошибки ориентации.

$\tilde{r} = r_d - r_{ee}$  — ошибка положения, где  $r_d$  — желаемое положение, а  $r_{ee}$  — текущее положение

$\tilde{R} = \log(R^T R_d)$  — кососимметричная матрица, содержащая ошибки ориентации по трём углам.

$\dot{\tilde{q}}$  — ошибка скорости, состоящая из двух частей: ошибки линейной скорости и ошибки угловой скорости

$$\dot{\tilde{r}} = \dot{r}_d - \dot{r}_{ee}$$

$$\tilde{\omega} = \omega_d - \omega_{ee}$$

где  $\dot{r}_{ee}$  и  $\omega_{ee}$  вычисляются при помощи Якобиана и скоростей шарниров как  $J\dot{q}$

$\ddot{q}_d(t)$  — желаемые линейные и угловые ускорения

Реализованный по приведённым выше формулам контроль был имплементирован и была произведена симуляция работы управления для шестизвеного манипулятора с использованием библиотек MuJoCo и Pinocchio. Видео работы, а также графики и код представлены в [репозитории](#) на Гитхаб. В представленном коде при создании объекта симулятора можно задать логическую переменную `hard_code`. Если она `True`, то манипулятор будет двигаться по траекториям с жёстко заданными в функции контроллера параметрами. Если она `False`, то на сцене будет интерактивный индикатор положения, к которому манипулятор должен прийти. Индикатор можно перемещать и поворачивать в ходе симуляции. По окончании симуляции в папку `logs` сохраняются графики изменения состояний шарниров, сигналы управления и ошибка положения энд-эффектора (подпапка `plots`) и запись симуляции (подпапка `videos`)