

НЕЙРОСЕТЕВАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ КВАДРОКОПТЕРА

Ямшанов Константин Леонидович

Аспирант

ФИЦ ИУ РАН, Москва, Россия

E-mail: yam.kostya@yandex.ru

Научный руководитель — Шмалько Елизавета Юрьевна

В процессе проектирования систем управления квадрокоптерами одной из ключевых задач является создание точной динамической модели. Аналитические методы требуют глубокого понимания аэродинамики, инерционных характеристик и внешних воздействий, что может быть затруднительно, особенно в условиях постоянно меняющейся окружающей среды. Одним из перспективных подходов к решению этой задачи является использование методов машинного обучения, в частности, нейросетевого подхода к идентификации модели. Этот метод позволяет получить компактное представление о динамике квадрокоптера, основываясь на данных, собранных во время полетов, и реакции системы на управляющие воздействия. В отличие от параметрической идентификации, которая предполагает заранее заданную структуру модели, нейросетевой подход способен выявлять сложные нелинейные зависимости [1,3]. В работе рассматривается создание и обучение нейросетевой модели квадрокоптера, а также насколько точно она воспроизводит реальную динамику.

Большинство квадрокоптеров оснащены системой стабилизации углов, решающая задачу угловой стабилизации. Поэтому динамика квадрокоптера может описываться системой дифференциальных уравнений с соответствующими обозначениями: $x = x_1$, $y = x_2$, $z = x_3$, $\dot{x} = x_4$, $\dot{y} = x_5$, $\dot{z} = x_6$, $\gamma = u_1$, $\psi = u_2$, $\theta = u_3$, $F/m = u_4$. Обозначим состояние квадрокоптера через вектор:

$$\mathbf{x}(t) = [x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t), x_5(t), x_6(t)]^T,$$

Управление квадрокоптером осуществляется через вектор управляющих воздействий:

$$\mathbf{u}(t) = [u_1(t), u_2(t), u_3(t), u_4(t)]^T,$$

$$\begin{aligned}
\dot{x}_1 &= x_4, \\
\dot{x}_2 &= x_5, \\
\dot{x}_3 &= x_6, \\
\dot{x}_4 &= f_{nn1}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)), \\
\dot{x}_5 &= f_{nn2}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)), \\
\dot{x}_6 &= f_{nn1}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)).
\end{aligned} \tag{1}$$

Модель (1) описывает движение квадрокоптера через изменение углов, которые соответствуют управлению u_1, u_2, u_3 и тягу u_4 , аппроксимируя скорости, используя нейронную сеть f_{nn} . Задача обучения нейросети, через нахождение оптимальных параметров θ минимизировать ошибки между реальными и предсказанными изменениями скоростей.

$$L(\theta) = \sum_{i=1}^N \|\dot{\mathbf{x}}_i(t) - f(\mathbf{x}_i(t), \mathbf{u}_i(t), \theta)\|^2,$$

Для обучения использовались данные из симулятора Gazebo, с моделированием квадрокоптера Iris и полетным контроллером ArduPilot. В процессе обучения нейросетевой модели использовались три набора данных: обучающий, тестовый и проверочный. Обучающий набор применялся для обновления параметров модели с помощью алгоритма обратного распространения ошибки. Тестовый набор использовался для контроля качества модели во время обучения и предотвращения переобучения. Проверочный набор не участвовал в обучении, а применялся для финальной оценки точности модели. Обучение проводилось в PyTorch с использованием архитектуры MLP и оптимизатора Adam. Качество оценивалось по метрикам:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2, \quad MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\hat{y}_i - y_i|. \tag{2}$$

Для идентификации динамической модели квадрокоптера был адаптирован ранее созданный программный пакет с открытым исходным кодом [2]. Оценка на валидационной выборке подтвердила способность модели к обобщению. Метрики для валидационной выборки составили, MSE — 0.06, а MAE — 0.0544.

Иллюстрации

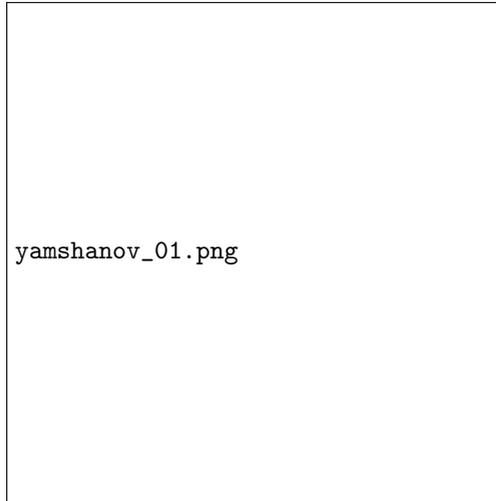


Рис. 1. Пример моделирования квадрокоптера в симуляторе Gazebo и предсказанные скорости.

Нейросетевая идентификация модели квадрокоптера, позволяет получить представление его динамики без параметрических ограничений. Эксперименты показали соответствие предсказанных и реальных скоростей. Дальнейшее совершенствование возможно за счет расширения данных и применения более сложных архитектур. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект FSFS-2024-0012).

Литература

1. Шмалько Е. Ю., Румянцев Ю. А., Байназаров Р. Р., Ямшанов К. Л. Идентификация нейросетевой модели робота для решения задачи оптимального управления. // Информатика и автоматизация. 2021. Т. 20(6). С. 1254–1278.
2. Программный пакет для обучения нейросетевой модели. <https://github.com/KostyaYamshanov/copter-model-identification>
3. Liu G. P. Nonlinear identification and control: a neural network approach // Springer Science & Business Media, 2012.