



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Стабилизация квадрокоптера с помощью многослойной нейронной сети

Бушуев Кирилл Русланович
E-mail: krbushuev@gmail.com

Научный руководитель:
Лобанов Игорь Сергеевич

Необходимо стабилизировать квадрокоптер в условиях замкнутого пространства (во время стабилизации, квадрокоптер не должен отклоняться от начального местоположения более чем на 2 метра), не используя полные данные о системе, а так же предустановленные параметры.

Провести стабилизацию возможно используя:

- PID регулятор
- GPS координат
- Датчиков расстояния
- Computer Vision(видеокамера)

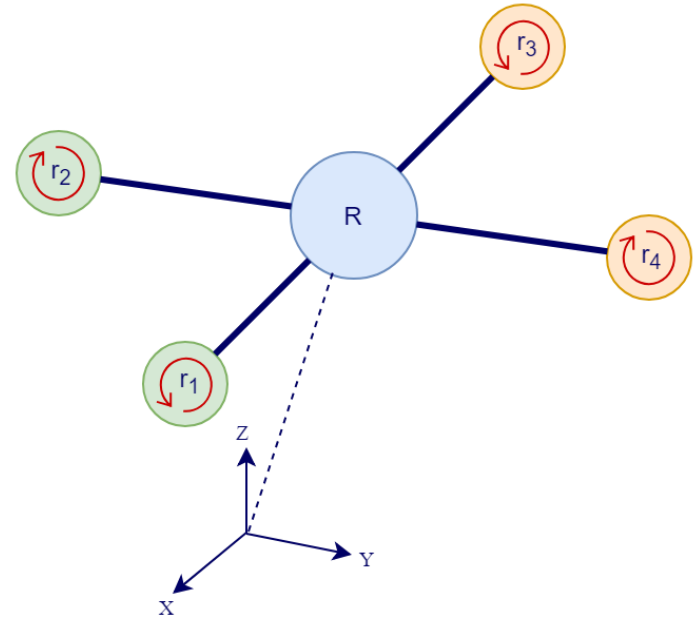
- Как автоматизировано стабилизировать квадрокоптер не используя дополнительно подключаемые модули?
- Как автоматизировано учитывать конструкционные дефекты каждого отдельно взятого дрона.
- Как учитывать возможные конструкционные изменения произошедшие с момента последнего пуска

- Построить математическую модель квадрокоптера
- Построить нейронную сеть способную стабилизировать квадрокоптер в жестких ограничениях
- Обучить нейронную сеть на основе динамических данных
- Выбрать оптимальную структуру и метод обучения нейронной сети для стабилизации квадрокоптера за минимально возможное время

Схема моделируемого квадрокоптера

- $R(r_0)$ – координаты корпуса квадрокоптера
- $r_1 \dots r_4$ – координаты моторов

Моторы 1,3 вращаются против часовой стрелки. Моторы 2,4 вращаются по часовой стрелке



Уравнение движения точек квадрокоптера

$$r_k(t) = r_c(t) + \Omega(\varphi(t)) \cdot r_{kc}(0)$$

Расчет поступательного движения

$$r_c(t+h) = r_c(t) + \dot{r}_c(t) \cdot h + \frac{\ddot{r}_c(t) \cdot h^2}{2}$$

$$\ddot{r}_c(t) = \frac{\sum_k F_k(t)}{M}$$

Расчет вращательного движения

$$\Omega(\varphi(t)) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_x(t) & -\sin \varphi_x(t) \\ 0 & \sin \varphi_x(t) & \cos \varphi_x(t) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \varphi_y(t) & 0 & \sin \varphi_y(t) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi_y(t) & 0 & \cos \varphi_y(t) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \varphi_z(t) & -\sin \varphi_z(t) & 0 \\ \sin \varphi_z(t) & \cos \varphi_z(t) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\varphi(t+h) = \varphi(t) + \omega(t) \cdot h + \frac{\dot{\omega}(t) \cdot h^2}{2}$$

$$\dot{\omega}(t) = I_c(t)^{-1} \cdot (T(t) - \omega \times L(t))$$

$$T(t) = \sum_k r_{kc}(t) \times F_k(t) \quad I_c(t) = \sum_k I_k(t) \quad L(t) = I_c(t) \cdot \omega$$

$$I_k(t) = m_k \cdot (r_{kc}(t) \cdot r_{kc}(t)^T - I \cdot (r_{kc}(t)^T r_{kc}(t)))$$

Силы действующие на квадрокоптер

$$F_k(t) = \begin{cases} F_{G_k}(t) + F_{Rst_k}(t) + F_{Conv_k}(t), & \text{если } k = 0 \\ F_{G_k}(t) + F_{L_k}(t) + F_{Rot_k}(t) + F_{Conv_k}(t) + F_{Rst_k}(t), & \text{иначе} \end{cases}$$

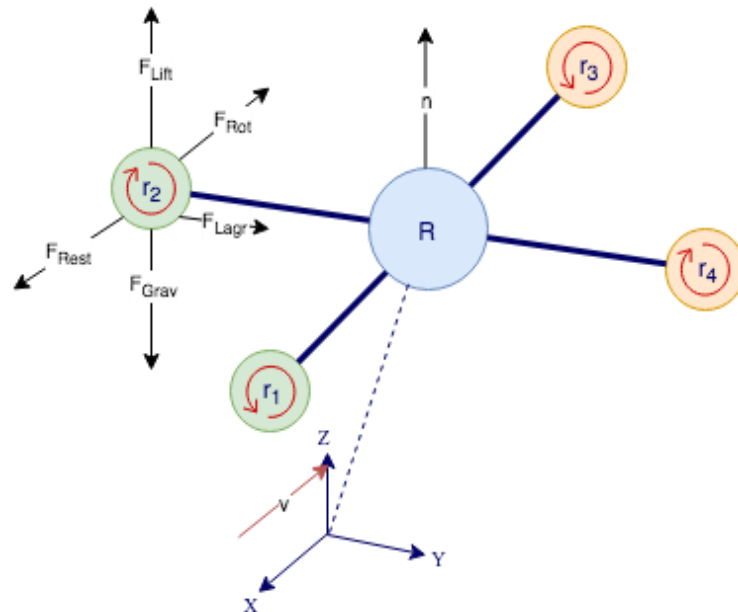
$$F_{G_k}(t) = g \cdot m_k$$

$$F_{L_k}(t) = a_k \cdot \omega_{mot\ k}^2 \cdot n(t)$$

$$F_{Rot_k}(t) = (b_k \cdot \omega_{mot\ k}^2(t) + I_k(t) \cdot \dot{\omega}_{mot\ k}(t)) \cdot \sum_{k \neq j} \frac{n(t) \times r_{jk}(t)}{\|r_{jk}(t)\|}$$

$$F_{Rst_k}(t) = c_k \cdot \frac{\rho \cdot (\dot{r}_k(t))^2}{2} \cdot S_k$$

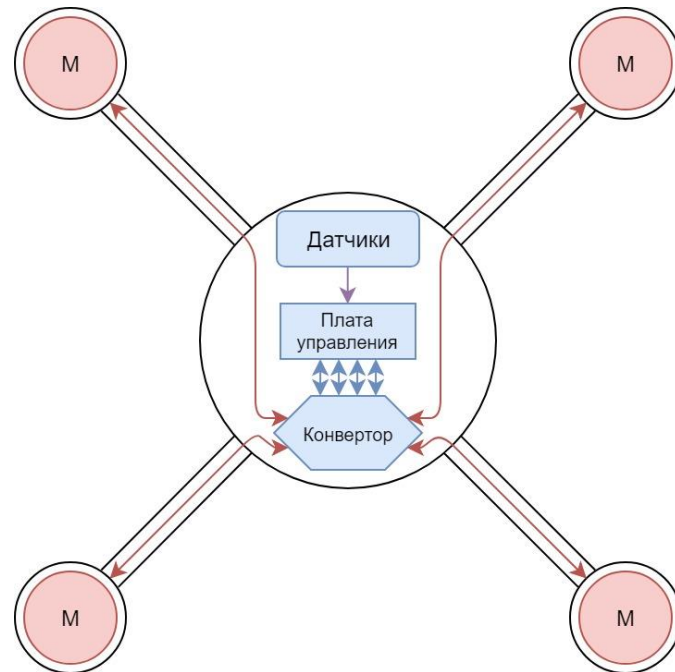
$$F_{Conv_k}(t) = \sum_{k \neq j} \lambda_{kj} \cdot r_{kj}(t)$$



- ✓ Отклонение размеров квадрокоптера от проектируемых
- ✓ Отклонение центра масс от проектируемой точки
- ✓ Отклонение характеристик двигателей от проектируемых значений
- ✓ Отклонение формы от проектируемого значения

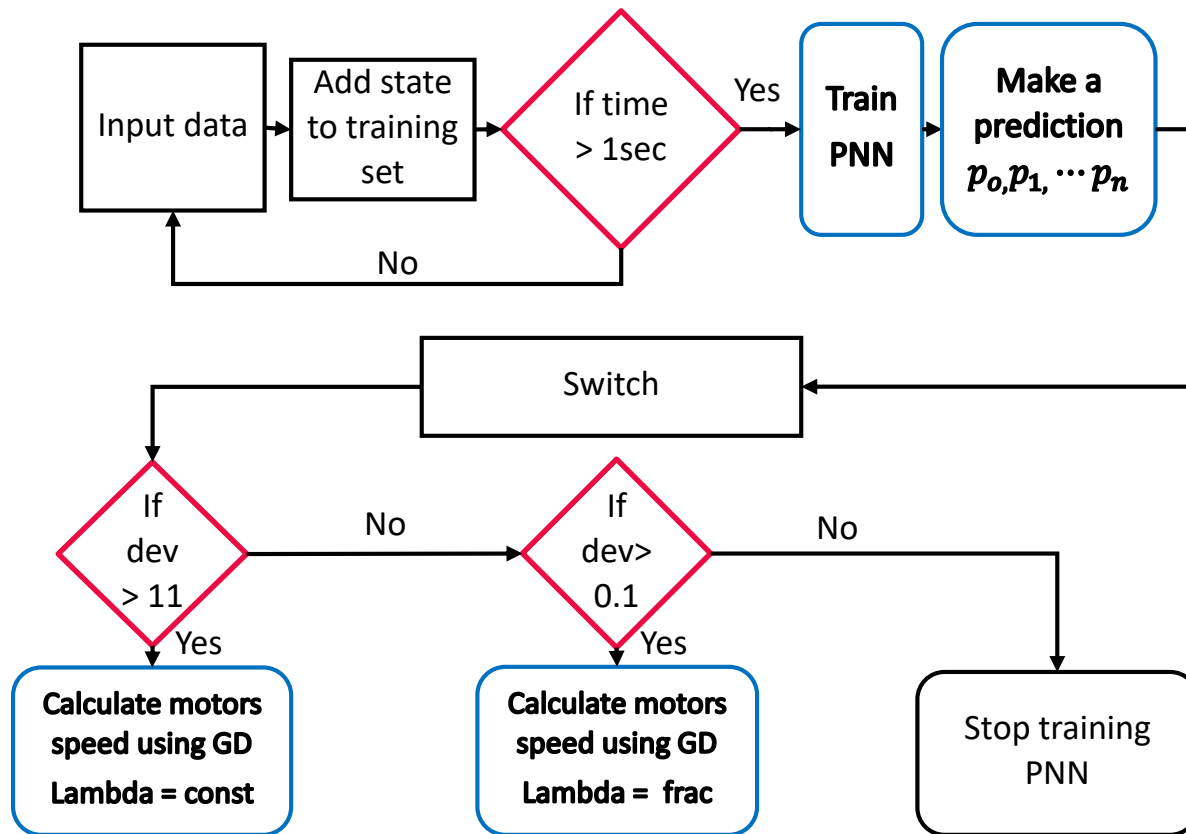
Аппаратная модель квадрокоптера

- ✓ Рама.
- ✓ Плата управления.
- ✓ Конвертор напряжения.
- ✓ Мотор (4 штуки).
- ✓ Блок датчиков.

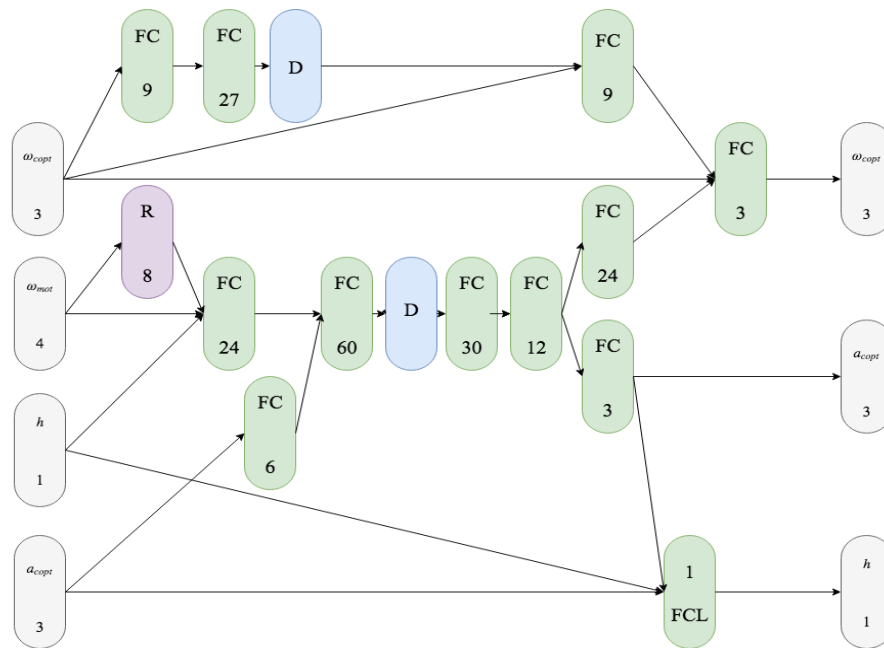


Алгоритм стабилизации





Архитектура прогнозирующей нейронной сети



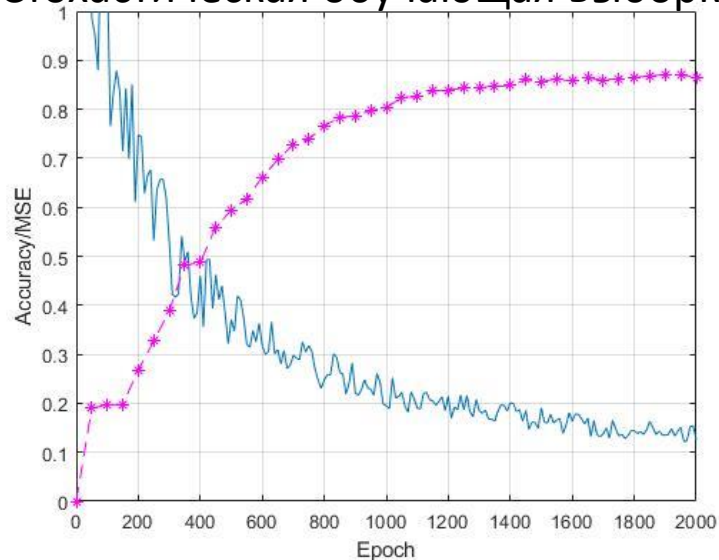
R - рекурсивный слой
 D - слой для уменьшения значимых признаков
 FC - полносвязный слой

Методы подготовки обучающей выборки

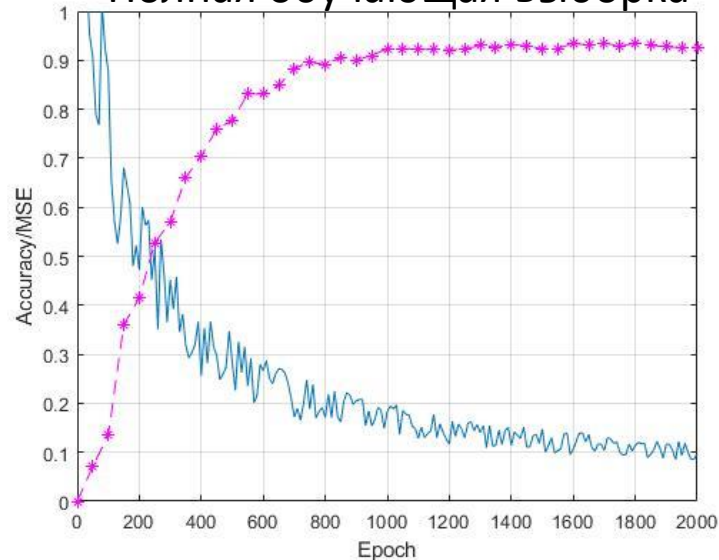
| | Стохастическая выборка | Полная выборка |
|---|---------------------------|-----------------------------------|
| Число семплов в памяти устройства | Последние 250 | Все собранные до текущего шага |
| Вероятность выбора семпла | 0.2 | 1 |
| Последовательность семплов в выборке | Случайная | Последовательная |

График обучения нейронной сети

Стохастическая обучающая выборка



Полная обучающая выборка



Результаты стабилизации при различных методах обучения нейронной сети

| | Стохастическая выборка | Полная выборка |
|----------------------------------|------------------------|--------------------|
| Обучение нейронной сети | | |
| Среднее число эпох | 1254 | 812 |
| Среднее время обучения | 24 с | 16 с |
| Процент корректных предсказаний | 87.17 | 93.87 |
| Стабилизация коптера | | |
| Среднее число проходов градиента | 787 | 546 |
| Среднее время обучения | 16 с | 11 с |
| Процент корректных стабилизаций | 78.56 | 92.05 |
| Асимптотика времени цикла | $O(GD)+O(SNW)$ | $K*(O(GD)+O(SNW))$ |

Спасибо за внимание!

Бушуев К.Р.

krbushuev@gmail.com

IT's *MO*re than a
UNIVERSITY

Список литературы

- [1] Ian Goodfellow . Deep Learning [Текст] Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville 2016
- [2] Li Deng, Deep Learning Methods and Applications [Текст] Li Deng, Diong Yu, 2014 Volume 7 Issues 3-4, ISSN: 1932-8346
- [3] Raul Rojas. Neural Networks. A Systematic Introduction [Текст] Raul Rojas 1996
- [4] Richard A. Wasniowski Multi sensor data fusion with filtering [Текст] Richard A. APPLIED INFORMATICS and COMMUNICATIONS September 15-17, 2005 (pp330-334)
- [5] Гурьянов А. Е. Моделирование управления квадрокоптером [Текст] Инженерный Вестник с. 552
- [6] Dikmen I.C., Arisoy A., Temeltas H. Attitude control of a quadrotor [Текст]. 4th International Conference on Recent Advances in Space Technologies, 2009. Pp. 722-727.
- [7] Zhao W., Hiong Go T. Quadcopter formation flight control combining MPC and robust feedback linearization. [Текст] Journal of the Franklin Institute. Vol.351, Issue 3, March 2014. Pp. 1335-1355.