

МОДУЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОТРАБОТКИ НЕЙРОСЕТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРОМ

Григорьева Е. Д.¹

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Власов С.М.¹

¹Университет ИТМО

284769@niuitmo.ru

Введение

Практическая разработка нейросетевых алгоритмов управления квадрокоптером требует безопасной и воспроизводимой проверки полного контура системы управления. При переходе от виртуальной отладки к натурным испытаниям ошибки часто обусловлены не качеством обучения, а несовпадением временных задержек, особенностей бортовой обработки телеметрии и ограничений вычислительных ресурсов. Предлагаемое решение состоит в разработке модульной программно-аппаратной архитектуры, объединяющей аппаратную симуляцию и натурные испытания в единый воспроизводимый контур.

Основная часть

Разработана модульная архитектура стенда и программного комплекса для экосистемы ArduPilot [1], обеспечивающая перенос нейросетевого модуля между вычислительными узлами без изменения логики модели и без отключения штатной защиты автопилота. Обмен реализован по MAVLink [2], а маршрутизация телеметрии и управляющих команд — через MAVProxy [1]. MAVProxy выступает промежуточным узлом между полётным контроллером (UART), бортовым и внешним компьютерами, а также наземной станцией управления (Mission Planner, QGroundControl), что позволяет одновременно выполнять управление, мониторинг и логирование без разрыва управляющего контура.

Архитектура поддерживает три режима работы. В onboard-режиме инференс выполняется на бортовом микрокомпьютере, что обеспечивает минимальную задержку и автономность. В offboard-режиме модель переносится на внешний компьютер, что позволяет использовать более ресурсоёмкие алгоритмы. В гибридном режиме одновременно работают бортовая и внешняя модели: первая отвечает за быстрые реакции, вторая — за более сложную логику формирования команд. При переходе между режимами сохраняются единый формат обмена и общая структура управляющей программы.

Для стендовой отладки реализован контур аппаратной симуляции, в котором симулятор и программный мост формируют сообщения имитации датчиков и принимают воздействия автопилота на исполнительные органы, что позволяет воспроизводимо проводить испытания и вводить внешние возмущения [3]. Для повышения безопасности в архитектуру встроена ручная перехват через RC-приёмник. Работоспособность архитектуры подтверждена как на стенде, так и в реальных полётах: проверены корректность маршрутизации телеметрии и команд, а также функционирование всех трёх режимов при сохранении возможности ручного вмешательства.

Устойчивость контура обеспечивается использованием штатной оценки состояния автопилота: расширенный фильтр Калмана объединяет данные инерциальных и вспомогательных датчиков и формирует оценки положения, скорости и ориентации, применяемые как внутренними регуляторами, так и внешним нейросетевым контуром [4].

Выводы

Предложенная архитектура объединяет аппаратную симуляцию и реальную эксплуатацию в единый воспроизводимый процесс, позволяя безопасно отрабатывать нейросетевое управление до натуральных испытаний. Реализован практический выбор схемы исполнения (onboard, offboard, гибридный) как компромисса между задержкой управления, вычислительной сложностью модели и требованиями к надёжности, при сохранении ручного контура безопасности. Полученные результаты могут применяться при построении лабораторных стендов и инженерных контуров испытаний квадрокоптеров и других беспилотных воздушных систем для ускорения цикла разработки и повышения повторяемости экспериментов.

Литература

1. MAVProxy // ArduPilot [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ardupilot.org/mavproxy/> (Дата обращения: 27.02.2026).
2. MAVLink Developer Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mavlink.io/en/> (Дата обращения: 27.02.2026).
3. HITL Simulators // ArduPilot Dev Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ardupilot.org/dev/docs/hitl-simulators.html> (Дата обращения: 27.02.2026).
4. Extended Kalman Filter Navigation Overview and Tuning // ArduPilot Dev Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ardupilot.org/dev/docs/extended-kalman-filter.html> (Дата обращения: 27.02.2026).