

## УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ КВАДРОКОПТЕРА В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРЕПЯТСТВИЙ

Гусаров С. А.,

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Перегудин А. А.

Университет ИТМО

segreigusarov-121@yandex.ru

### Введение

За последние годы БПЛА превратились из нишевых решений в универсальные платформы, используемые в разных сферах, однако с усложнением класса задач, в которых они могут применяться, растут и требования к интеллектуальности систем управления. Одной из актуальных задач становится обеспечение безопасного движения дрона в условиях среды с повышенной плотностью воздушного трафика. В числе используемых на сегодняшний день инструментов присутствует обширный набор подходов: от классического ПИД- [1] до современных адаптивных методов [2], однако ни один из них не способен использовать модель объекта для прогнозирования его будущего поведения.

### Основная часть

С усложнением возникает потребность в разработке наиболее эффективных методов управления, одним из которых является Model Predictive Control. MPC – это алгоритм управления с обратной связью, который использует модель объекта для прогнозирования возможных результатов процесса [3]. В его основе лежит модель объекта управления, которая прогнозирует его будущее поведение, и оптимизатор, благодаря которому прогнозируемый выход приводится к эталонному. «В настоящее время управление на основе модели прогнозирования получило широкое применение на верхнем уровне автоматизации в системах управления производственными процессами» [4]. С ростом вычислительной мощности микропроцессоров применение MPC распространилось и на такие отрасли как, космонавтика, перерабатывающая промышленность, а также робототехника, поэтому в данной работе мы применим описанный подход в качестве локального регулятора для управления ориентацией дрона в пространстве.

Так как математическая модель квадрокоптера включает в себя значительно нелинейные компоненты, для управления положением квадрокоптера в пространстве мы будем использовать разновидность MPC-контроллеров, способную работать с нелинейными системами, а именно Nonlinear MPC. Для улучшения качества прогнозирования и работоспособности регулятора предусмотрен ряд настраиваемых параметров, вариации которых дают различные результаты: время выборки – определяет скорость, с которой регулятор выполняет алгоритм управления, горизонт прогнозирования – определяет число будущих прогнозируемых шагов алгоритма, горизонт управления – определяет количество будущих управляющих ходов, весовые коэффициенты – определяют желаемое соотношение качества и скорости сходимости отдельных компонент вектора состояния объекта управления.

Одним из важнейших преимуществ подхода является обработка ограничений на переменные, а также скорости их изменения [5]. В процессе алгоритма регулятор следит, чтобы указанные переменные оставались в заданных пределах.

После серии проведенных экспериментов, установлено, что регулятор с заданными ограничениями успешно справляется с перемещением квадрокоптера вдоль траектории, удовлетворяя всем ограничениям. Помимо этого, NMPC предоставляет

существенно лучший вариант управления, по сравнению с классическим LQR так как обладает большим быстродействием и нулевым перерегулированием.

Далее мы задали ряд сторонних объектов, являющихся препятствиями на пути квадрокоптера. При снятии переходной характеристики объекта можно убедиться, что ограничение обрабатывается регулятором успешно, и столкновения не происходит. Аналогичные результаты были получены при исследовании работы регулятора в условиях динамически изменяющихся траекторий внешних к системе летательных аппаратов, где NMPC также продемонстрировал эффективное выполнение поставленной задачи.

### Выводы

В ходе выполнения работы мы исследовали систему управления движением квадрокоптера в условиях динамических препятствий с помощью регулятора на основе NMPC. Проведя обзор существующих технических решений, мы перешли к разработке и описанию модели квадрокоптера, с учётом всех представленных в задании технических ограничений, таких как: масса квадрокоптера (0.1 кг), расстояние от винтов до его центра масс (0.3 м), а также максимальная тяга, развиваемая ВМГ (15.25 Н).

Мы также синтезировали простейший LQR для исходной системы, а также проверили его работоспособность при движении квадрокоптера в заданную точку с различными начальными данными. Далее мы разработали регулятор на основе модели прогнозирования Nonlinear MPC и исследовали влияние его настраиваемых параметров на метрики качества управления. Оптимальной конфигурацией параметров для задачи оказались значения  $Ts = 0.1$ ,  $p = 14$ ,  $m = 3$ , а также вектор-строка из весовых коэффициентов  $w = [1 \ 1 \ 1.5 \ 0.8 \ 0.8 \ 0.8 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1]$ . Были учтены поставленные технические ограничения: расстояние до препятствия составило 4.12 метра, а количество динамических препятствий составило 4.

Оценка результативности метода осуществлялась на основе следующих метрик: максимальный промах управления (0.01 м), максимальное значение управляющего сигнала (не превысило 15.25 у.е.), время переходного процесса (8.41 с). Стоит отметить, что все перечисленные метрики удовлетворяют поставленному техническому заданию, что свидетельствует об успешности разработанной системы управления.

### Литература

1. Хтет Сое Паинг, Хан Мью Хтун, Чжо Сое Вин, Зо Мью Наин. Контроль высоты и управление траекторным движением автономного миниатюрного летательного аппарата. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2021. – №9(1). С. 5.
2. Никитин Д. А. Адаптивная система управления квадрокоптером на основе кватернионной модели вращений // УБС. 2017. №69.
3. M. Bangura and R. Mahony, «Real-time Model Predictive Control for Quadrotors», IFAC Proceedings Volumes, 2014, vol. 47, pp. 11773–11780.
4. Колодин А. А., Ёлшин В. В. Разработка и исследование регулятора на основе прогнозирующей модели // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2021. №1 (69). С. 1.
5. L. Grüne, J. Pannek, Nonlinear Model Predictive Control, Communications and Control Engineering, DOI 10.1007/978-0-85729-501-9, Springer-Verlag London, 2011, pp. 45–46.

