

АЛГОРИТМ ПРОГРАММНОГО ОГРАНИЧЕНИЯ ПОЛЕТНОЙ ЗОНЫ МУЛЬТИКОПТЕРА

Филипас А.А.¹, Кривошеев Д.В.²

¹ *Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, доцент, e-mail: filipas@tpu.ru*

² *Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, 8ТМ21, e-mail: dvk98@tpu.ru*

Аннотация

В данной работе поэтапно описана разработка алгоритма, который позволяет задавать размеры зоны ограничения (длина – X , ширина – Y , высота – Z), реализовывать программно физическое ограничение вылета БПЛА из заданной (ограниченной) зоны при реализации ручного управления.

Ключевые слова: Алгоритм, ограничение полетной зоны, мультикоптер, БПЛА.

Введение

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) – с тремя и более несущими винтами – мультикоптеры, прочно вошли в нашу повседневную жизнь. От простых развлечений ещё вчера, сегодня мультикоптеры находят применения в таких областях, как сельское хозяйство, общественная безопасность, борьба с лесными пожарами, управление чрезвычайными ситуациями, обследование линейной инфраструктуры (линий электропередач, трубопроводов), усиление мер по обеспечению правопорядка, телекоммуникации, мониторинг погоды, аэрофотовидеосъёмка и картографирование, телевидение, кинематограф, мониторинг окружающей среды, разведка запасов нефти и газа, грузовые перевозки, и многих других.

Некоторые виды работ с использованием мультикоптеров проводятся в полётных пространствах, имеющих физические ограничения. Также ограничение полётной зоны может применяться при осуществлении полетов вблизи зон с ограничениями полетов для беспилотных воздушных судов (БПЛА) БВС [1], при обучении пилотов БПЛА, а также в других задач, связанных с необходимостью ограничивать полетную зону мультикоптера.

В рамках данной работы рассматривается создание алгоритма программного ограничения рабочей зоны полета мультикоптера для его применения в условиях ограниченного полетного пространства. Система будет работать в реальном времени и реальных координатах, на открытых и закрытых площадках, без применения дополнительного оборудования, с использованием инерциальной навигации [2] коптера и системы optical flow [3].

Описание алгоритма

Для реализации ограничений полетной зоны мультикоптера рассмотрим основные моменты, на которые стоит обратить внимание при разработке данного алгоритма.

На первом этапе необходимо задать начальные условия (зону ограничения). На рисунке 1 схематически представлена область, которую мы будем задавать.

Первым и самым простым способом задания будет задание значений X_0, Y_0, Z_0 в коде программы. Также можно задать диагональ XYZ_0 , а в программе реализовать расчет X_0, Y_0, Z_0 .

Второй способ задания начальных условий является более сложным с точки зрения реализации, однако он может стать наиболее удобным, интуитивно понятным и универсальным для пользователя.

Суть его заключается в том, что пользователю для задания координат (зоны ограничения) необходимо будет установить коптер на точку начала координат и нажать кнопку для подтверждения ввода на коптере (либо на пульте). Затем необходимо переместить коптер в точку для задания координаты и подтвердить ввод нажатием кнопки на коптере (либо на пульте). То же самое необходимо проделать для координаты Y и Z , или можно сразу установить коптер в точку и три раза нажать кнопку подтверждения ввода координат.

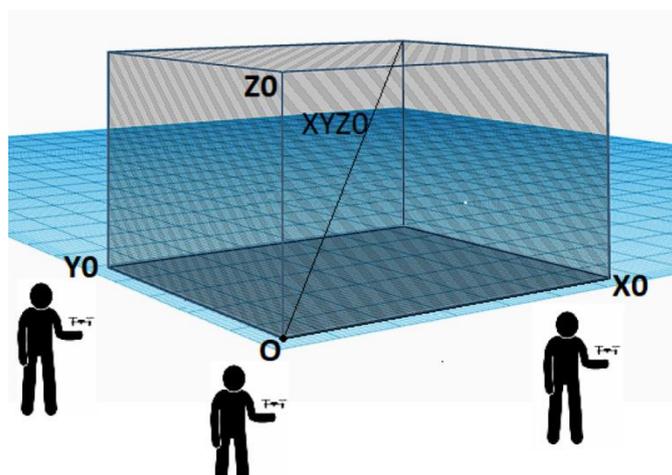


Рис. 1. Задания ограничений полетной зоны различными способами

На втором этапе рассмотрим сам алгоритм ограничения полетной зоны. Для этого необходимо учесть некоторые моменты. Рассмотрим плоскость, представленную на рисунке 2.

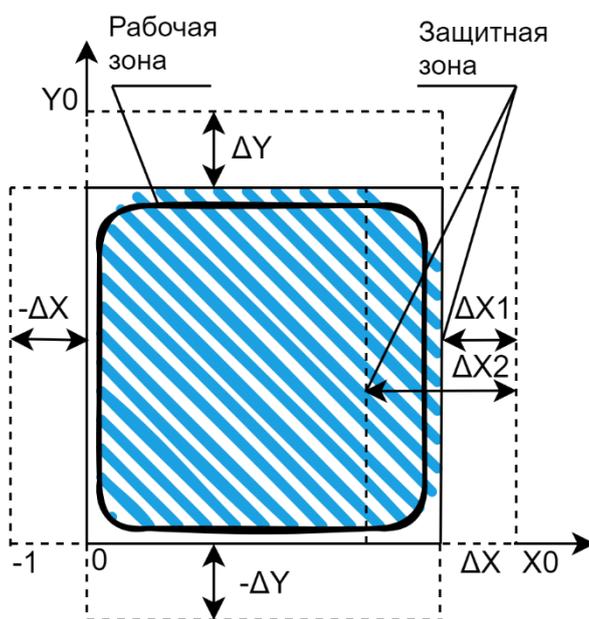


Рис. 2. Планирование зоны ограничений

Здесь представлен прямоугольник, ограниченный точками $X0$ и $Y0$, заданными на предыдущем этапе алгоритма. Точка 0 – начало отсчета. Рассмотрим случай ограничения полета коптера, когда он движется слева направо, от точки 0 в сторону $X0$. Предположим, что коптер летит со скоростью $V1$. Очевидно, что остановить коптер мгновенно не представляется возможным. Поэтому чтобы он остановился, не выходя за пределы $X0$, останавливать его нужно заранее в точке $X0 - \Delta X1$. Однако если его скорость $V2$ больше скорости $V1$, то и останавливать его нужно раньше в точке $X0 - \Delta X2$.

Таким образом, значение параметра ΔX «защитного интервала» («защитной зоны») напрямую будет зависеть от скорости движения коптера.

Следует отметить, что ограничение по координате X не ограничивает движения коптера по координатам Y и Z . Ограничения движения коптера по всем координатам произойдет только тогда, когда он окажется в любом верхнем или нижнем углу заданной полетной зоны.

Таким образом, заштрихованная область и будет рабочей зоной полета коптера.

Теперь рассмотрим подробнее алгоритм ограничения полетной зоны коптера с использованием динамически изменяемой «защитной зоны» внутри рабочей зоны в зависимости от его положения в ней и текущей скорости коптера.

Для реализации алгоритма динамического управления «защитной зоны» составим более подробную схему конкретно под эту задачу. Такая схема, например для зоны размером 10x10 метров, представлена на рисунке 3.

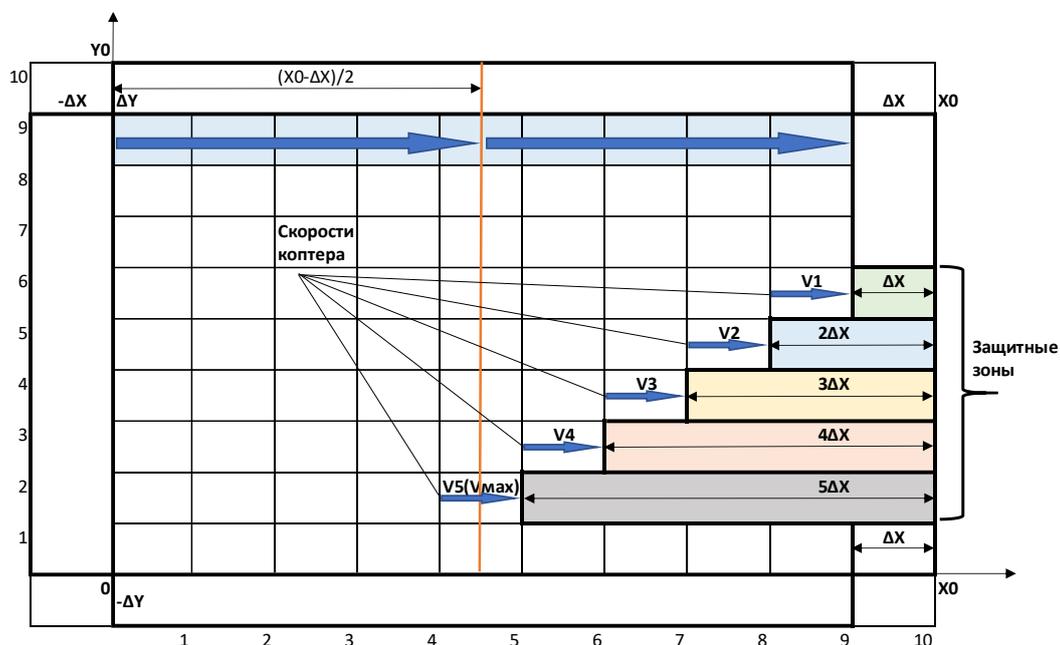


Рис. 3. Полетная зона для алгоритма управления интервалом «защитной зоны»

На схеме представлено поле, в котором квадраты от 0 до 9 – это рабочая зона полета коптера. Зона слева от нуля $-\Delta X$ и справа от 9 ΔX – это минимальная «защитная зона», которая будет задаваться фиксированной.

Рассмотрим движение коптера от нуля направо. Подлетая к «защитной зоне» $5\Delta X$ с максимальной скоростью $V5$ и пересекая ее, коптер отключается от пульта управления и по инерции останавливается, не выходя за границы минимальной «защитной зоны». Затем коптер автоматически устанавливается в точку $X0 - \Delta X$, и теперь «защитная зона» для него станет ΔX , т.к скорость его стала меньше скорости $V1$. Если же у коптера при движении слева направо была скорость $V4$, то отключать его будем в момент пересечения интервала $4\Delta X$. С другими скоростями все происходит аналогично. Также стоит отметить, что если коптер движется справа налево, то алгоритм работает также, только с учетом его направления движения. Данный алгоритм ограничения относится и к движению коптера по оси Y , и по оси Z .

Для определения численных значений «защитных зон» $2\Delta X, 3\Delta X, 4\Delta X, 5\Delta X$ было проведено исследования «выбега» квадрокоптера COEX Clever [4] в среде симуляции Gazebo [5]. Суть исследования сводилась к разгону коптера при помощи ручного управления. Затем после достижения коптером определённой скорости осуществлялось отключение его от ручного управления, и определялось на сколько по инерции он вылетит до полной остановки. Полученные результаты представлены на рисунке 4.

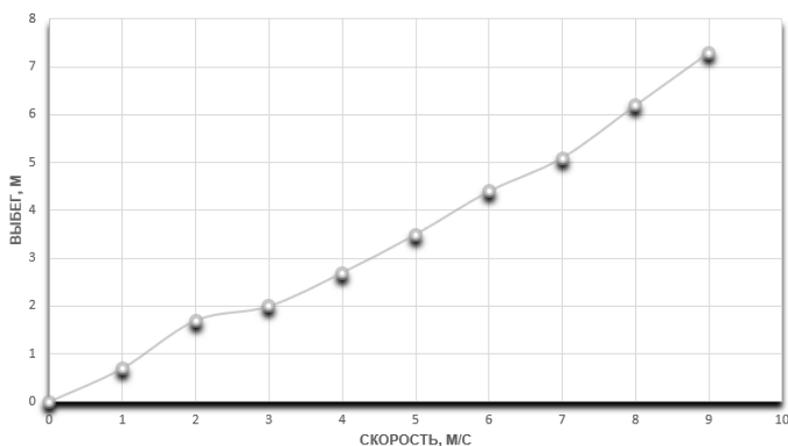


Рис. 4. Зависимость «выбега» от скорости

Также по этому графику автоматически задается ограничения максимальной скорости для данного алгоритма. Так, например, для площадки, представленной на рисунке 3, нет смысла разгонять коптер более 7 м/с, так как он просто не успеет остановиться.

Заключение

В результате разработки алгоритма и проведенных исследований был написан программный код, реализующий все вышеописанные подходы. Программный код протестирован в симуляции. На программный код получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024614405 [6].

Список использованных источников

1. Установление зоны ограничения полетов для беспилотных воздушных судов (беспилотных летательных аппаратов БПЛА) БВС // Центр комплексной безопасности: сайт. – 2023. – URL: <http://ckb.su/component/k2/item/446-ustanovlenie-zony-ogranicheniya-poletov-dlya-bespilotnykh-vozdushnykh-sudov-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov-bpla-bvs> (дата обращения: 03.03.2024).
2. Инерциальная навигация // Википедия: сайт. – 2024. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Инерциальная_навигация (дата обращения: 10.03.2024).
3. Визуальная одометрия // RoboCraft: сайт. – 2024. – URL: <https://robocraft.ru/computervision/738> (дата обращения: 10.03.2024).
4. Введение // Клевер: сайт. – 2024. – URL: <https://clover.coex.tech/ru/#клевер> (дата обращения: 10.02.2024).
5. GAZEBO // GAZEBO: сайт. – 2013. – URL: <https://gazebosim.org/features> (дата обращения: 10.03.2024).
6. ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ 2024614405 // ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОЙ СОБСТВЕННОСТИ: сайт. – 2013. – URL: <https://fips.ru/EGD/c4a89856-9601-4db2-8498-3e35b819290e> (дата обращения: 23.02.2024).