

Разработка системы управления полетом БПЛА с использованием рандомизации в условиях навигации с существенными неопределенностями.

В.С. Мальцев¹
К.С. Амелин²

¹Программная инженерия, группа 17.Б11-мм, математико-механический факультет, СПбГУ

²к.ф.-м.н., Директор НОЦ СПбГУ "Математическая робототехника и искусственный интеллект", научный руководитель

5 июня 2021 г.

БПЛА с фиксированным крылом

- Длительный автономный полет по навигационным точкам
- Качество выполнения задач зависит от точности следования траектории
- Существуют случайные факторы, влияющие на полет, такие как скорость ветра и его направление



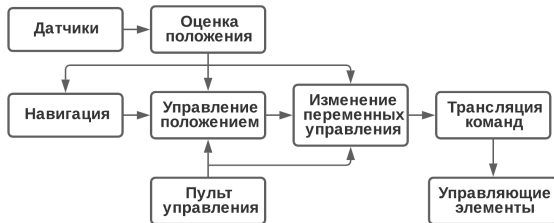
На БПЛА используется контроллер Cuan v5+. Для него существует два автопилота с открытым исходным кодом:

1 Ardupilot

- Поддержка большого количества существующих беспилотных аппаратов
- Исходный код представляет неструктурированный набор файлов

2 PX4-Autopilot:

- Модульная архитектура
- Обновляющаяся документация для разработчиков



- Вычисления проводятся в горизонтальной плоскости
- Усредняется за период в несколько секунд

- Величина ветра в текущий момент времени
- Сдвиг ветра в следующий момент времени

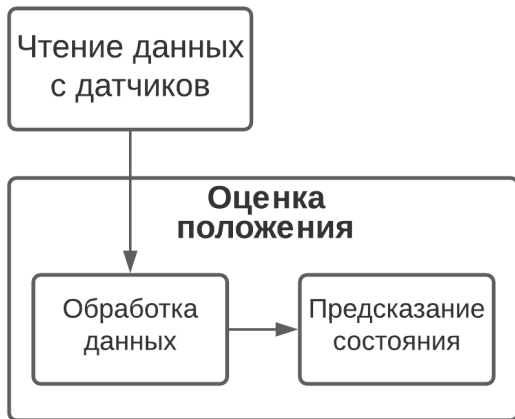
- Минимизация целевой функции
- Добавление одновременно возмущаемой стохастической аппроксимации
- Работает в условиях, когда нет никаких предположений о свойствах шума и погрешностях

Цель: создание системы с применением алгоритма SPSA для стабилизации полета БПЛА при навигации в условиях существенных неопределенностей

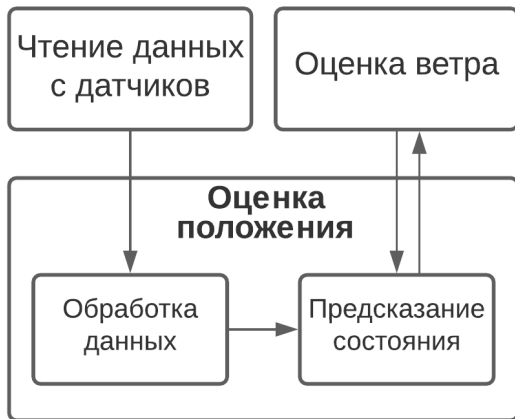
Задачи:

- Провести обзор предметной области
- Создать алгоритм оценки ветра, который включает рандомизированные поправки в управляющий сигнал
- Спроектировать и реализовать модуль включения рандомизированных поправок в управляющий сигнал автопилота PX4-Autopilot
- Провести имитационное моделирование и апробацию на реальном БПЛА самолетного типа

Оценка положения БПЛА

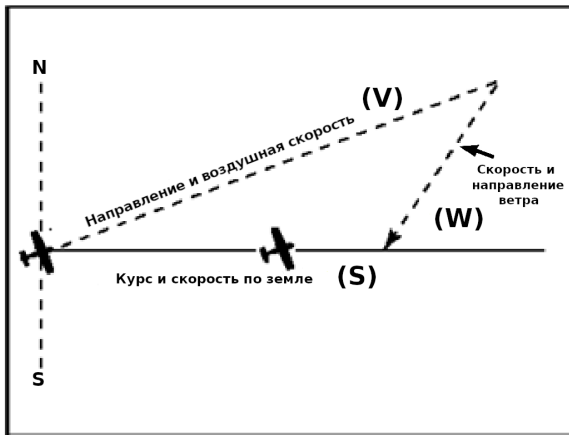


Оценка положения БПЛА



Предсказание ветра

Вычисление текущей скорости ветра



$$W = S - V$$

Рандомизированные поправки

- Воздействие ветра рассматривается отдельно в горизонтальной плоскости и по вертикали
- θ — угол в горизонтальной плоскости, на который ветер поменяется в следующий момент времени
 b — изменение силы ветра в горизонтальной плоскости
 h — изменение силы ветра по вертикали
- ε_t^θ — ошибка в направлении движения
 ε_t^b — расстояние до заданной траектории
 ε_t^h — расстояние до заданной высоты

Алгоритм включения рандомизированных поправок

- 1 $\hat{\theta}_0 = \hat{b}_0 = \hat{h}_0 = 0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta > 0$
- 2 Получаем данные о положении БПЛА
- 3 Генерируем последовательность Δ_n независимых, одинаково распределенных случайных величин, равных $\pm\beta$ с одинаковой вероятностью $\frac{1}{2}$

4

$$\hat{\theta}_{t+1} = \hat{\theta}_t - \alpha_1 \Delta_{t1} \varepsilon_t^\theta$$

$$\hat{b}_{t+1} = \hat{b}_t - \alpha_2 \Delta_{t2} \varepsilon_t^b$$

$$\hat{h}_{t+1} = \hat{h}_t - \alpha_3 \Delta_{t3} \varepsilon_t^h$$

- 5 Передаем данные о ветре модулю оценки положения
- 6 Переходим к шагу 2

- Симулятор FlightGear
- Полет по прямой 5 километров
- Среднее отклонение от заданной траектории:

изменение параметров ветра	оригинальный АП	модифицированный АП
без изменений (0 град/с, 0 м/с ²)	0.05 м	0.08 м
слабые (до 5 град/с, до 2 м/с ²)	0.07 м	0.13 м
значительные (до 15 град/с, до 5 м/с ²)	0.9 м	0.5 м
сильные (до 45 град/с, до 10 м/с ²)	4.2 м	1.1 м

- БПЛА самолетного типа Диам-20



- Полет по прямой 5 километров
- Среднее отклонение от заданной траектории:

оригинальный АП	модифицированный АП
0.28 м	0.21 м

В ходе данной работы были получены следующие результаты:

- Проведен обзор предметной области
- Создан алгоритм с использованием метода SPSA
- Спроектирован и реализован модуль для автопилота PX4-Autopilot, который вычисляет текущее значение ветра и генерирует рандомизированные поправки на следующий момент времени
- Проведено имитационное моделирование и апробация на БПЛА Диам-20

- Модифицированная версия автопилота PX4-Autopilot доступна на [GitHub](#)