

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Иркутский государственный университет»
Институт математики и информационных технологий

*Дискретный анализ и информатика
Выпуск 8*

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРИКЛАДНОЙ ДИСКРЕТНОЙ МАТЕМАТИКИ

Сборник научных трудов

Под редакцией
д-ра физ.-мат. наук, проф. О. В. Кузьмина



УДК 519.1:519.2
ББК 22.176
А43

Серия основана в 2006 году

Печатается по решению ученого совета ИМИТ ИГУ

Рецензенты:

д-р техн. наук *А. В. Данеев*
канд. физ.-мат. наук *А. А. Бутин*

Редакционная коллегия серии:

д-р физ.-мат. наук *О. В. Кузьмин* (отв. ред.)
д-р физ.-мат. наук *А. В. Лакеев*
д-р техн. наук *Г. А. Опарин*
канд. физ.-мат. наук *Н. А. Колокольникова* (отв. секретарь)
канд. техн. наук *А. А. Семенов*
канд. физ.-мат. наук *Т. Г. Тюрнева*

А43 **Актуальные вопросы прикладной дискретной математики** : сб. науч. тр. / под ред. О. В. Кузьмина. – Иркутск : Издательство ИГУ, 2022. – 128 с. – (Дискретный анализ и информатика ; вып. 8).

ISBN 978-5-9624-2021-9

Содержит статьи по различным разделам перечислительной комбинаторики и ее приложениям в дискретной математике и теории вероятностей.

Предназначено для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов старших курсов соответствующих специальностей.

УДК 519.1:519.2
ББК 22.176

Научное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
ПРИКЛАДНОЙ ДИСКРЕТНОЙ МАТЕМАТИКИ**

Редактор *А. В. Врон*

Темплан 2022. Поз. 17. Подписано в печать 22.03.2022. Формат 60×90 1/16
Усл. печ. л. 8,1. Тираж 75 экз. Заказ 22

ИЗДАТЕЛЬСТВО ИГУ

664082, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 124
тел.: +7(3952) 53-18-53 e-mail: izdat@lawinstitut.ru

ISBN 978-5-9624-2021-9

© ФГБОУ ВО «ИГУ», 2022

Содержание

От редактора	5
<i>Аришинский Л. В., Лебедев В. С.</i> Применение нестрогой вероятности в задачах индуктивного вывода	9
<i>Захаров Д. В.</i> О проблеме построения логических триггеров в событийно-ориентированных системах	17
<i>Иванчишин В. Б.</i> Свойства интервала между простым числом больше 7 и его квадратом	24
<i>Кожухов И. Б., Ревякин А. М., Ярошевич В. А.</i> Теория измерений, бинарные отношения и регулярные полугруппы изотонных преобразований	39
<i>Колокольникова Н. А.</i> Число непустых ячеек при геометрическом распределении числа размещаемых частиц	49
<i>Кузьмин О. В., Старков Б. А.</i> Построение оптимальной стратегии действий и генеративное моделирование	58
<i>Кузьмин О. В., Лавлинская А. А., Кузнецов К. А., Корнилов М. Р.</i> Применение метода детекции объектов на изображениях для обнаружения лесных пожаров с помощью беспилотных летательных аппаратов	65
<i>Кузьмин О. В., Лавлинский М. В., Былков Е. Г., Харитонов И. А.</i> Создание модельного ряда БПЛА для обнаружения угроз лесных пожаров и разливов рек	73
<i>Кузьмина Е. Ю., Лавлинский М. В., Алдашкин К. Д.</i> Среда разработки учебных курсов по информатике	86
<i>Мартьянов В. И., Степаненко А. А.</i> База данных автомобильных дорог Иркутской области	94
<i>Потехина Е. А.</i> О некоторых комбинаторных интерпретациях композиции Адамара	101
<i>Старков Б. А.</i> Комбинаторные конфигурации, формируемые при помощи треугольника Паскаля и траектории	111
<i>Ширяева Т. А., Шлепкин А. К., Филиппов К. А., Шлепкин А. А.</i> О формулах суммирования конечных сумм специального вида	120
Страницы нашей истории	126

Заключение

Разработан алгоритм распознавания пламени и дыма на изображении, использующий такой метод машинного обучения, как детекция объектов. В перспективе необходимо собрать и разметить датасет, содержащий не менее тысячи изображений, а также подобрать параметры для улучшения обучаемой модели.

Литература

1. Обнаружение лесных пожаров с помощью беспилотных летательных аппаратов / О. В. Кузьмин, А. А. Лавлинская, Г. А. Филь, М. Д. Камнев // Математика, ее приложения и математическое образование (МПМО'20). Улан-Удэ, 2020. С. 134–136.
2. Сводный отчет о лесных пожарах на всех видах территорий по данным космического мониторинга по состоянию на 31 декабря 2021 г. URL: https://public.aviales.ru/main_pages/openform1.shtml?2021-12-31 (дата обращения: 17.02.2022).
3. Fire Detection System using Computer Vision and Image Processing Technique. URL: https://www.researchgate.net/publication/334172126_CASE_STUDY_On_Fire_Detection_System_using_Computer_Vision_and_Image_Processing_Technique (дата обращения: 20.04.2020).
4. PyTorch. URL: https://pytorch.org/tutorials/intermediate/torchvision_tutorial.html (дата обращения: 17.02.2022).
5. RoboFlow. URL: <https://roboflow.com/> (дата обращения: 17.02.2022).
6. Increasing fire and logging disturbances in Siberian boreal forests: a case study of the Angara Region / E. G. Shvetsov, E. A. Kukavskaya, T. A. Shestakova, J. Laflamme, B. M. Rogers. // Environ. Res. Lett. 2021. Vol. 16. 115007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac2e37>
7. Кузьмин О. В., Лавлинский М. В. Создание модели беспилотного летательного аппарата для помощи в решении проблемы пожаров в Иркутской области // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. № 2 (66). С. 136–143. [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2020.2\(66\).136-143](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2020.2(66).136-143)
8. Кузьмин О. В., Лавлинский М. В. Создание модели беспилотного летательного аппарата типа биплан, использующей генетический алгоритм в полете, для помощи в решении проблемы пожаров в Иркутской области // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2021. № 3 (71). С. 185–192. [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2021.3\(71\).185-192](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2021.3(71).185-192)

УДК 373.167.1:519.1:004.9

СОЗДАНИЕ МОДЕЛЬНОГО РЯДА БПЛА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ УГРОЗ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ И РАЗЛИВОВ РЕК

О. В. Кузьмин¹, М. В. Лавлинский², Е. Г. Былков³
И. А. Харитонов⁴

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ
и Правительства Иркутской области
в рамках научного проекта № 20-41-385001

Рассматривается модельный ряд беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для обнаружения лесных пожаров и разливов рек (конструктивные особенности, реализация управления) и приводятся фрагменты программного кода.

Ключевые слова: распознавание пожаров, БПЛА, квадрокоптер, самолет, Raspberry Pi 4, Arduino.

CREATION OF A MODEL RANGE OF UAVS FOR DETECTING THREATS OF FOREST FIRES AND RIVER SPILLS

O. V. Kuzmin, M. V. Lavlinsky, E. G. Bylkov, I. A. Kharitonov

A model range of unmanned aerial vehicles (UAVs) for detecting forest fires and river floods is considered: design features, control implementation, and fragments of the program code are given.

Keywords: fire recognition, UAV, quadcopter, airplane, Raspberry Pi 4, Arduino.

¹ Кузьмин Олег Викторович, д-р физ.-мат. наук, профессор, зав. кафедрой теории вероятностей и дискретной математики, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», г. Иркутск, e-mail: quzminov@mail.ru

² Лавлинский Максим Викторович, учитель информатики и математики, МАОУ Лицей ИГУ г. Иркутска, аспирант кафедры теории вероятностей и дискретной математики, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», Иркутск, e-mail: lavlinskimv@mail.ru

³ Былков Егор Геннадьевич, учащийся, МАОУ Лицей ИГУ г. Иркутска, г. Иркутск, e-mail: egorbylkov4@gmail.com

⁴ Харитонов Илья Андреевич, учащийся, МАОУ Лицей ИГУ г. Иркутска, г. Иркутск, e-mail: ilia.kharitonov01012@gmail.com

Введение

Одной из целей научного проекта № 20-41-385001, поддерживаемого РФФИ и Правительством Иркутской области, является развитие концепции беспилотного летательного аппарата (БПЛА) для помощи в мониторинге лесных массивов и водных пространств Приангарья.

Создание масштабного ряда моделей БПЛА, предназначенных для использования в условиях отдаленных и северных районов Иркутской области, было начато в 2020 г. с модели квадрокоптера-эколога (модель № 0), изображенной на рис. 1. В статье [3] продемонстрирована возможность применения платформы Arduino при создании экологической метеостанции с квадрокоптером в качестве несущей платформы. Разработана принципиальная схема метеостанции, блок-схема алгоритма и листинг программы по обработке данных, получаемых с датчиков.

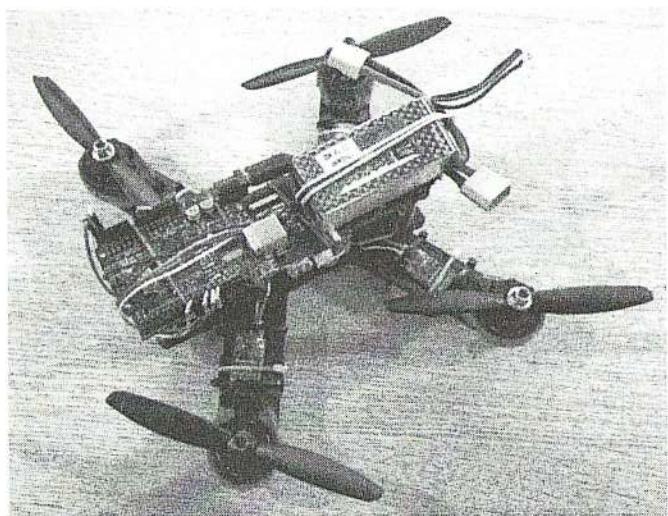


Рис. 1. Модель квадрокоптера-эколога (модель № 0)

В настоящее время ведется разработка концепции и создание компьютерных трехмерных моделей БПЛА самолетного типа [1], предназначенных для решения ряда актуальных экологических проблем, связанных с обнаружением лесных пожаров и разливов

рек в Приангарье [2; 5]. Модель № 1 была спроектирована в 2020 г. [6] (рис. 2), ее чертеж изображен на рис. 3.

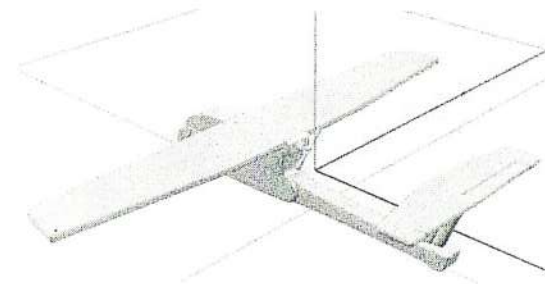


Рис. 2. Компьютерная модель БПЛА 2020 г. (модель № 1)

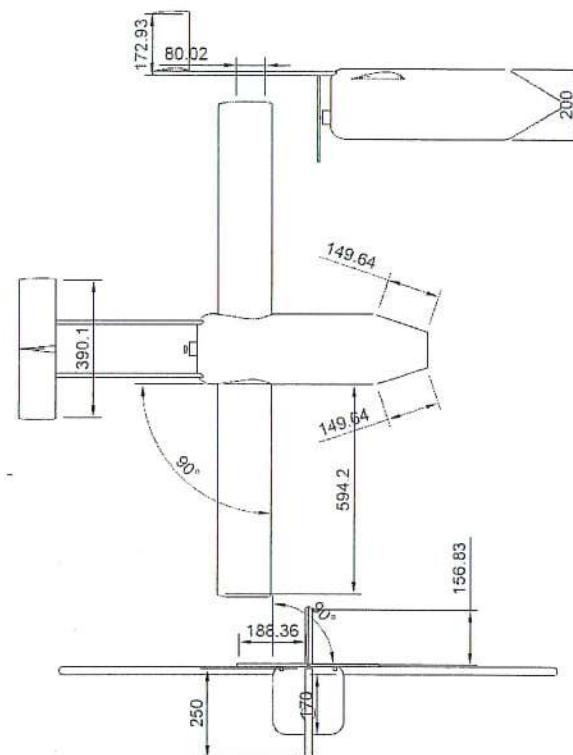


Рис. 3. Чертеж модели БПЛА 2020 г. (модель № 1)

Модель № 2 была спроектирована в 2021 г. [7] (рис. 4), ее чертеж изображен на рис. 5.

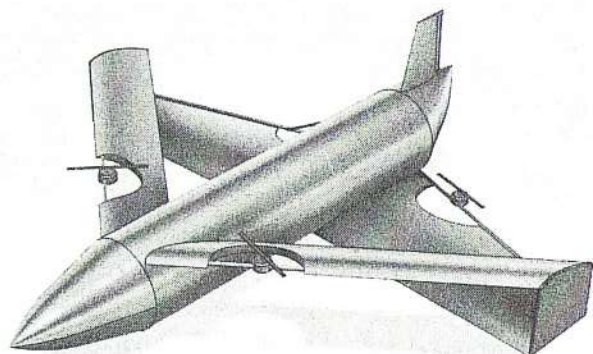


Рис. 4. Компьютерная модель БПЛА 2021 г. (модель № 2)

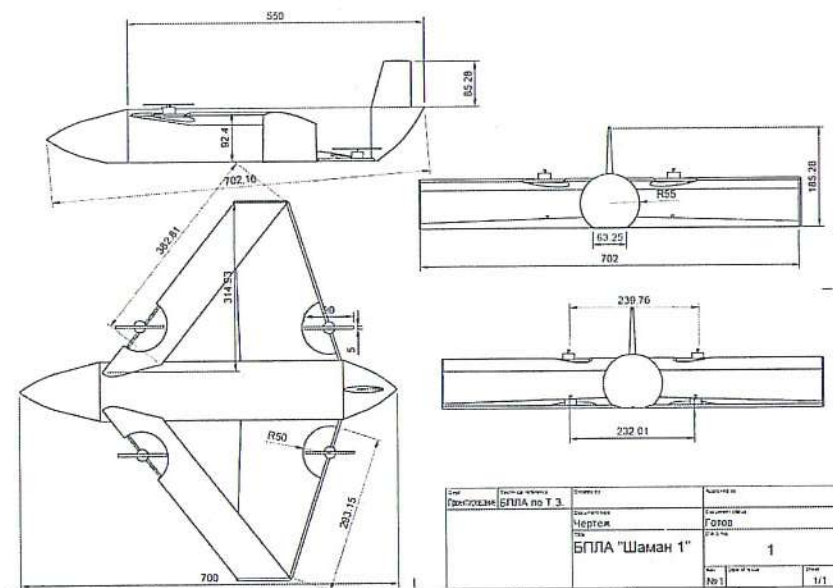


Рис. 5. Чертеж модели БПЛА 2021 г. (модель № 2)

Однако анализ результатов компьютерных и натурных испытаний выявил их недостатки, которые не позволят им полноценно решать поставленные задачи. Вследствие этого в 2022 г. была создана модель № 3 (рис. 6) с учетом достоинств и недостатков прошлых моделей.

Конструктивные особенности

Сначала в новой модели была изменена форма корпуса. Теперь его горизонтальное сечение имеет форму трапеции с закругленными углами. Такое решение было принято для улучшения боковой обтекаемости корпуса и избавления от воздушных завихрений в местах креплений крыльев. В больших самолетах корпус имеет круглое или эллипсовидное сечение для более равномерного распределения внешнего давления, в чем нет нужды в беспилотном аппарате. Следующее изменение корпуса – вынос верхней пары крыльев над корпусом. Это было сделано также для уменьшения завихрений и равномерности распределения воздушного потока под этой парой крыльев. Для лучшего крепления самих крыльев также была добавлена подставка.

После подробного разбора ситуаций, с которыми может столкнуться БПЛА во время эксплуатации, было выявлено, что из-за своих небольших размеров дрон сильно подвержен природным физическим воздействиям. Для компенсации данного эффекта на борт БПЛА было решено установить моторы, мощнее необходимых для полета в идеальных условиях, мощностей которых должно хватить для противостояния воздушным потокам.

Моторы являются не единственным источником подъемной силы БПЛА: дрон имеет вариант передвижения самолетного типа. Техническая сложность данного решения в том, что при совершении движения квадрокоптерного типа и несоответствии центров подъемных сил (центра подъемных сил крыльев и центра подъемных сил моторов) возникает момент силы, а следовательно, и вращательное движение, что приводит к дестабилизации положения БПЛА. Во избежание подобного эффекта было решено изменить расположение и форму крыльев так, чтобы при любом расположении моторов на краях крыльев центры совпадали. В свою очередь, для упрощения данной задачи форма заднего крыла была изменена с трапеции на параллелограмм с аналогичной площадью. Рассчитаем угол α «наклона» параллелограмма.

Введем систему координат XOY для вертикальной проекции БПЛА на плоскость, с центром в точке O на пересечении средней горизонтали дрона и отрезка, отделяющего хвост от центральной части корпуса. Примем следующие обозначения:

- Xo_1 – абсцисса центра подъемных сил заднего крыла;
- Xo_2 – абсцисса центра подъемных сил переднего крыла;
- X_{Π} – абсцисса подъемных сил системы крыльев;
- X_M – абсцисса подъемных сил моторов;
- x_1, y_1 – длина и ширина первого крыла;
- x_2, y_2 – длина и ширина второго крыла;
- α – меньший угол параллелограмма крыла (для совпадения центров при любом горизонтальном расположении двигателей на крае крыла углы на обоих крыльях должны быть равны);
- R – радиус лопастей моторов;
- X – длина корпуса между внешними краями крыльев.

Так как крыло имеет форму параллелограмма, центр подъемных сил находится на пересечении средних линий. Тогда координаты крыльев:

$$\begin{aligned} Xo_1 &= \frac{x_1 + \text{ctg}\alpha \cdot y_1}{2}, \\ Xo_2 &= X - \frac{\cos 10^\circ \cdot (x_2 + \text{ctg}\alpha \cdot y_2)}{2}, \\ X_{\Pi} &= (Xo_2 - Xo_1) \cdot \frac{F_1}{F_1 + F_2} + Xo_1. \end{aligned}$$

Абсцисса центра подъемных сил моторов при их нахождении на одной прямой, параллельной OX , задана соотношениями:

$$\begin{aligned} X_{\Pi} &= (Xo_2 - Xo_1) \cdot \frac{F_1}{F_1 + F_2} + Xo_1, \\ X_M &= \frac{X - (y_2 + y_1) \cdot \text{ctg}\alpha}{2}, \\ (Xo_2 - Xo_1) \cdot \frac{F_1}{F_1 + F_2} + Xo_1 &= \frac{X - (y_2 + y_1) \cdot \text{ctg}\alpha}{2}, \\ \left(X - \frac{\cos 10^\circ \cdot (x_2 + \text{ctg}\alpha \cdot y_2)}{2} - \frac{x_1 + \text{ctg}\alpha \cdot y_1}{2} \right) & \cdot \\ & \cdot \frac{c_1 \cdot \left(y_1 \cdot h_1 - \frac{R^2 \pi}{2} \right)}{c_2 \cdot \left(y_2 \cdot h_2 - \frac{R^2 \pi}{2} \right) + c_1 \cdot \left(y_1 \cdot h_1 - \frac{R^2 \pi}{2} \right)} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} + \frac{x_1 + \text{ctg}\alpha \cdot y_1}{2} &= \frac{X - (y_2 + y_1) \cdot \text{ctg}\alpha}{2}, \\ \text{ctg}\alpha &= 0,325, \\ \alpha &= 72^\circ. \end{aligned}$$

Далее необходимо рассчитать местоположение самих моторов. Для максимально комфортной балансировки БПЛА в режиме квадрокоптера необходима форма расположения моторов в виде квадрата.

Пусть y – расстояние от прямой, проходящей через центры моторов, до линии центра корпуса. Тогда:

$$\begin{aligned} 2 \cdot y &= y - 2y \cdot \text{ctg}\alpha - (y - y_1 + y_2) \cdot \text{ctg}\alpha, \\ y &= \frac{X + (y_1 - y_2) \text{ctg}\alpha}{2 + 3 \text{ctg}\alpha}, \\ y &= 13. \end{aligned}$$

Отсюда следует, что окружности отверстий для моторов на нижних крыльях должны касаться корпуса. В соответствии с расчетами был выполнен чертеж (рис. 7), создана компьютерная модель (см. рис. 6) и натурная модель (рис. 8).

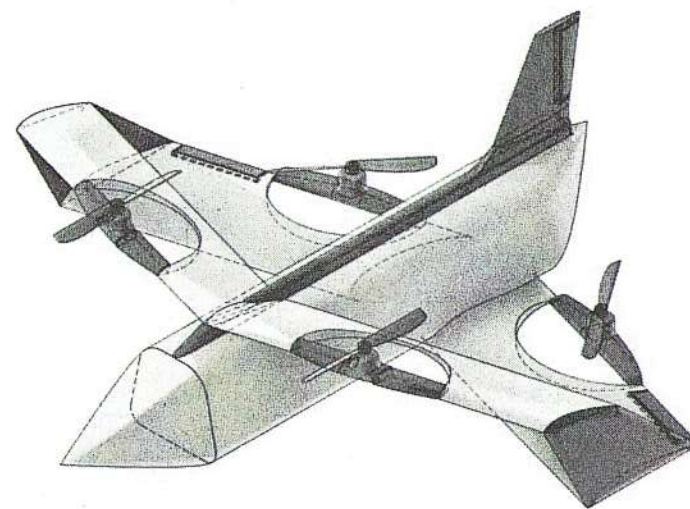


Рис. 6. Компьютерная модель БПЛА 2022 г. (модель № 3)

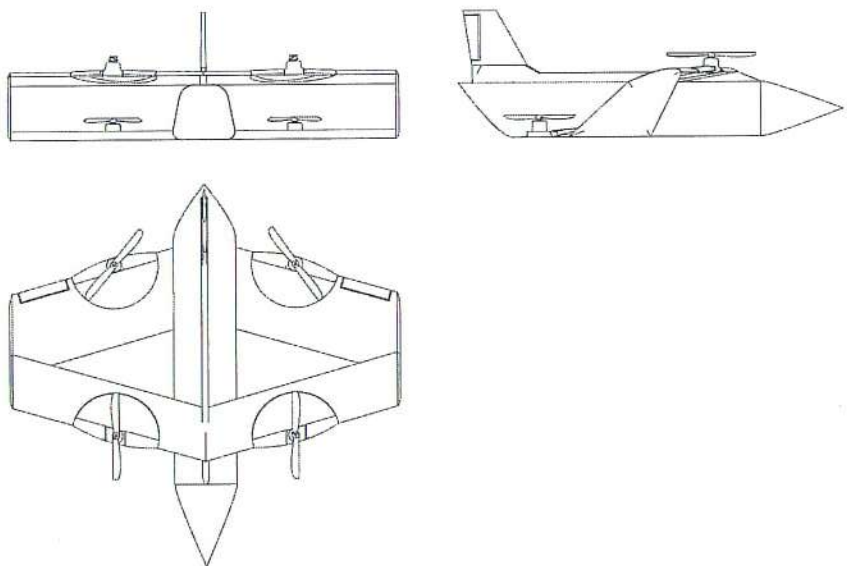


Рис. 7. Чертеж модели БПЛА 2022 г. (модель № 3)

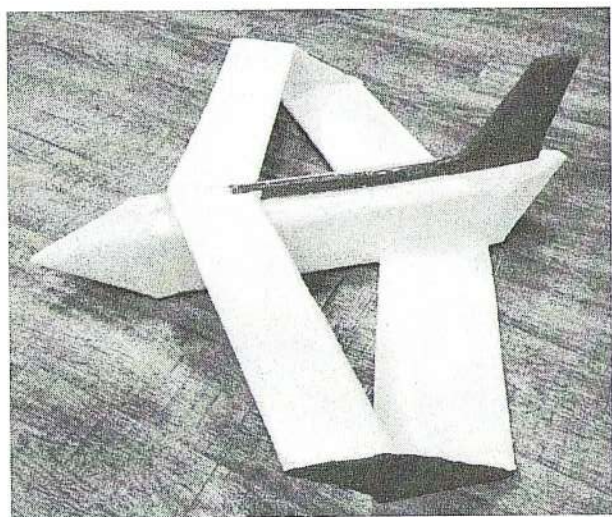


Рис. 8. Натурная модель БПЛА 2022 г. (модель № 3)

Реализация управления

Для реализации управления используются следующие компоненты: Raspberry Pi 4, Arduino mega 2600, четыре несущих бесколлекторных мотора MR2205-2300KV RACER EDITION, три серводвигателя MG90S TIANKONGRC, датчик Waveshare 10 DOF V2, радиоаппаратура I6X, провода. Схема системы управления представлена на рис. 9.

Реализация управления состоит из трех частей:

1-я часть – управление моторами: 4 мотора, 3 серводвигателя, платформа Arduino Mega;

2-я часть – плата Raspberry Pi, подающая через шину I2C данные о нужных углах наклона серводвигателей и скорости оборота шагового двигателя на плату Arduino Mega. Шина I2C представляет собой последовательную асимметричную шину для связи между интегральными схемами внутри электронных приборов. При этом используются две двунаправленные линии связи (SDA и SCL); шины применяются для соединения низкоскоростных периферийных компонентов с процессорами и микроконтроллерами;

3-я часть – логическая сеть, которая получает на вход изображение и данные с датчика Waveshare DOF 10, а именно: показание по трем координатам в пространстве относительно точки запуска, угол тангажа, угол рысканья, угол крена, расстояние от земли, температуру и другие нереализованные компоненты.

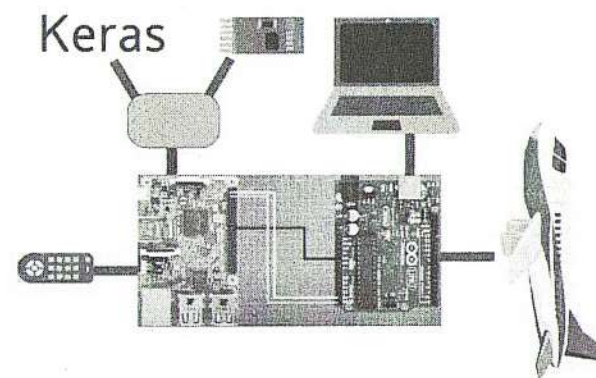


Рис. 9. Схема системы управления модели БПЛА 2022 г. (модель № 3)

Схема программного обеспечения приведена на рис. 10.

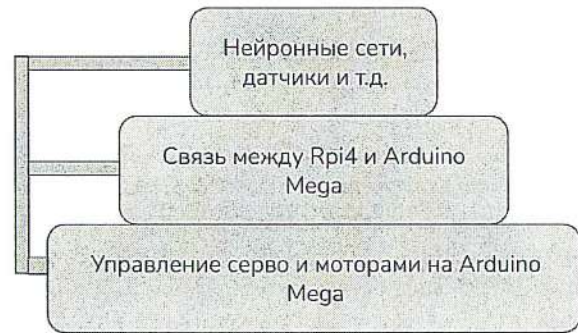


Рис. 10. Схема программного обеспечения

Первая часть: серводвигатели, моторы подсоединяются к плате Arduino Mega. При помощи библиотеки Wire.h происходит подключение к шине I2C. Определяется метод Change_Servo (листинг 1, рис. 11), который будет вызываться при получении данных. Этот метод получает семь значений через шину I2C: четыре мощности для каждого из четырех моторов соответственно и три угла для каждого из трех серводвигателей. Значения передаются на моторы и серводвигатели.

```
int temp[7], i = 0;
while (wire.available()){
    temp[i] = Wire.read();
    i++;
}
leftServo.write(temp[0]);
midServo.write(temp[1]);
rightServo.write(temp[2]);

leftFrontMotor.writeMicroseconds(temp[3]);
rightFrontMotor.writeMicroseconds(temp[4]);

leftBackMotor.writeMicroseconds(temp[5]);
rightBackMotor.writeMicroseconds(temp[6]);
```

Рис. 11. Метод Change_Servo (листинг 1)

Вторая часть представляет из себя класс, реализованный на языке Python 3.10. Класс хранит в себе семь значений: мощности моторов и углы серводвигателей. При вызове класса он передает все значения через шину I2C на плату Arduino Mega (листинг 2, рис. 12). Передача реализуется при помощи модуля smbus (листинг 3, рис. 13). Эта программа запускается на микрокомпьютере Raspberry Pi 4.

```
class MovementController():
    def __call__(self, power, angles=None):
        self.power_back_left_engine, self.power_back_right_engine,
        self.power_front_left_engine, self.power_front_right_engine = power

    if angles == None:
        self.angle_left_servo = 90
        self.angle_middle_servo = 90
        self.angle_right_servo = 90
    else:
        self.angle_left_servo,
        self.angle_middle_servo,
        self.angle_right_servo = angles
    send_data()
def send_data():
    data_to_send = [self.angle_middle_servo, self.angle_right_servo,
                    self.power_front_left_engine, self.power_front_right_engine,
                    self.power_back_left_engine, self.power_back_right_engine]
    bus.write_i2c_block_data(address, self.angle_left_servo, data_to_send)
def return_state(self):
    return
    np.array([[self.power_right_engine, self.power_left_engine],
              [self.angle_left_servo, self.angle_right_servo, self.angle_right_servo]])
def __init__():
    pass
```

Рис. 12. Класс для работы с шиной I2C (листинг 2)

```
bus = smbus.SMBus(1)
SLAVE_ADDRESS = 0x20
```

Рис. 13. Использование модуля smbus для передачи данных на плату Arduino Mega (листинг 3)

В третьей части полученное изображение с камеры преобразуется в карту сегментации с помощью нейронной сети Unet (рис. 14). Исходя из данных карты сегментации, вычисляется ближайшая точка безопасного полета и нужный для ее достижения курс

полета, описанный тремя параметрами: креном, тангажом, рысканием. По показаниям датчика Waveshare определяются текущие параметры курса. Исходя из нужного и текущего курса, определяется изменение положения БПЛА для безопасного полета.

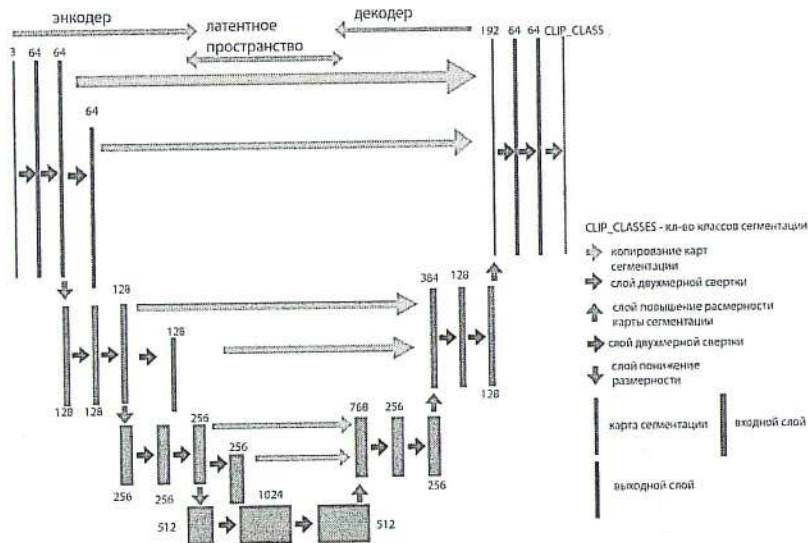


Рис. 14. Схема нейронной сети Unet

Выводы

В настоящее время модель № 3 проходит компьютерные и натурные испытания. Существенных недостатков не выявлено.

Литература

1. Обнаружение лесных пожаров с помощью беспилотных летательных аппаратов / О. В. Кузьмин, А. А. Лавлинская, Г. А. Филь, М. Д. Камнев // Математика, ее приложения и математическое образование (МПМО'20). 2020. С. 134–136.
2. Сводный отчет о лесных пожарах на всех видах территорий по данным космического мониторинга по состоянию на 31 декабря 2021 г. URL: https://public.aviales.ru/main_pages/openform1.shtml?2021-12-31 (дата обращения: 17.02.2022).
3. Лавлинская А. А., Филь Г. А., Камнев М. Д. Создание модели квадрокоптера-эколога // Прикладные вопросы дискретного анализа : сб. науч. тр. / под ред. О. В. Кузьмина. Иркутск, 2020. Вып. 6. С. 78–83.

4. Проектирование БПЛА для мониторинга лесных массивов и водных пространств / О. В. Кузьмин, А. А. Лавлинская, Б. А. Тараканов, М. А. Федоренко, Я. Э. Барнаков, М. А. Корнилов, И. А. Харитонов, Е. Г. Былков // Прикладные проблемы дискретного анализа : сб. науч. тр. / под ред. О. В. Кузьмина. Иркутск, 2021. Вып. 5. С. 66–72.

5. Shvetsov E. G., Kukavskaya E. A., Shestakova T. A., Laflamme J., Rogers B. M. Increasing fire and logging disturbances in Siberian boreal forests: a case study of the Angara Region // Environ. Res. Lett. 2021. Vol. 16. 115007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac2e37>

6. Кузьмин О. В., Лавлинский М. В. Создание модели беспилотного летательного аппарата для помощи в решении проблемы пожаров в Иркутской области // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. № 2 (66). С. 136–143. [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2020.2\(66\).136-143](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2020.2(66).136-143)

7. Кузьмин О. В., Лавлинский М. В. Создание модели беспилотного летательного аппарата типа биплан, использующей генетический алгоритм в полете, для помощи в решении проблемы пожаров в Иркутской области // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2021. № 3 (71). С. 185–192. [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2021.3\(71\).185-192](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2021.3(71).185-192)