

the analyzed data obtained from the OBD-II connector. The results of the application are presented, the data for which were taken from the time series, used to build the model. The conclusion is made about the possibility of applying the method of forecasting time series to build a comprehensive system for assessing the state of the unit using the data obtained by the protocol of connection with the car, which will be applicable in most cases.

Keywords: *machine learning, correlation, forecast, intelligent statistical model, OBD-II, Arima method, Vehicle.*

Рецензент: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Самотугін С. С.

Стаття надійшла 11.11.2019 р.

УДК 004.93

Кривенко О. В., Лемещенко М. І.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

В теперішній час широко застосовують безпілотні літальні апарати (БПЛА) при вирішенні завдань цивільного та мілітаризованого характеру. Такий літальний апарат здійснює політ за допомогою віддаленого керування або автономно по попередньо розрахованих траєкторіях польоту.

Однією з основних задач забезпечення безпечного польоту БПЛА є задача побудови траєкторії руху його переміщення згідно реальних умов. Традиційно задача побудови траєкторії, за якою буде рухатися БПЛА розглядається як задача пошуку шляху на графі: вершинам графа відповідають точки положення об'єкта у просторі, а ребрам – елементарні траєкторії, проходження БПЛА за якими вважається тривіальною задачею. Таким чином, задача планування траєкторії зводиться до двох підзадач: побудови графа, що моделює навколишнє середовище БПЛА, і пошуку шляху на цьому графі. Методи пошуку шляху на графі зазвичай базуються на ітераційному обході вершин графа за принципом Дейкстри.

Об'єктом дослідження в роботі є процес побудови послідовності точок простору, що уявляє з себе траєкторію руху та забезпечує безпечне переміщення по них безпілотного літального апарату. Предметом дослідження є методи побудови маршрутів на графах, уявлення та програмна обробка просторових карт середовища.

Мета роботи полягає у розробці методу побудови безпечної траєкторії руху безпілотного літального апарату між двома заданими точками простору. Методи досліджень базуються на методах и основних положеннях теорії інформації та теорії графів.

Наукова новизна полягає у нових підходах до обробки даних просторових мап, уявлення їх у вигляді програмних та графових моделей та побудови на їх основі траєкторії руху безпілотного літального апарату.

Практичне значення полягає в підвищенні ефективності та використання програмних систем при вирішенні завдань побудови, обчислення характеристик та візуалізації траєкторії руху безпілотних літальних апаратів.

Ключові слова: *безпілотний летальний апарат, просторова мапа, модель, параметри, траєкторія, маршрут, алгоритм, координати, система координат, комп'ютерна система, граф.*

Постановка проблеми. В результаті дослідження технологій побудови, обладнання та керування *безпілотними летальними апаратами* (БПЛА), їх класифікації та використання у сучасному житті отримано, що найбільш популярними та широко поширеними є невеликі безпілотні летальні апарати. Такі БПЛА найбільш використовуються для задач спостереження або доставки невеликого вантажу. Для цього необхідно побудова траєкторій руху БПЛА з урахуванням перешкод та обмежень, які накладаються специфікою конкретної мети переміщення та нормативно-правовими документами.

Дослідження алгоритмів пошуку шляхів на графах та алгоритмів для побудови траєкторії руху БПЛА на базі графових моделей довів, що найбільш зручним та широко поширеним методом є алгоритм Дейкстри та його модифікації для побудови траєкторії руху між двома точками простору. Даний метод обраний для побудови послідовності точок простору, з яких складається траєкторія руху БПЛА.

Дослідження програмних засобів для отримання реальних даних, їх обробки та використання для побудови програмних моделей просторового середовища показав, що найбільш поширеним сервісом є OpenStreetMap, у якого формат опису графічних даних OBJ.

Актуальність роботи полягає в розробці методу побудови траєкторії руху безпілотного літального апарату просторового середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. БПЛА є безпілотним авіаційним комплексом, призначеним для реалізації дій, які представляють істотну небезпеку для людей, а також мають невинуватну велику витрату ресурсів на виконання примітивних дій [1, 2].

Найбільш прийнятним варіантом оснащення існуючих та перспективних БПЛА є інтегрований інформаційно-керуючий комплекс, що забезпечує вирішення завдань навігації, управління рухом і наведення та є результатом сучасних досягнень в області інформаційних технологій.

Для автономного функціонування БПЛА містить цілий комплекс різних елементів. До основних елементів належать:

- керуюча апаратура;
- трьохосової гіроскоп і акселерометр;
- ГЛОНАСС/GPS - приймач;
- барометричний датчик тиску для визначення висоти і повітряної швидкості;
- радіо-модем.

Для забезпечення польотів однією з найбільш вагомих задач є планування траєкторії руху БПЛА: визначення набору точок в просторі. На розрахунок траєкторії руху впливають такі чинники як обмежений час та безпека.

Аналіз найбільш популярних алгоритмів для вирішення задачі пошуку найкоротшого шляху представлений у таблиці 1.

Таблиця 1 – Аналіз найбільш популярних алгоритмів для вирішення задачі пошуку найкоротшого шляху

Назва алгоритму	Суть алгоритму	Складність алгоритму
Алгоритм Дейкстри	Знаходить найкоротший шлях від однієї з вершин графа до всіх інших. Працює тільки для графів без ребер від'ємної ваги.	$O(V^2)$
Алгоритм Беллмана-Форда	Знаходить найкоротші шляхи від однієї вершини графа до всіх інших в підвішеному графі. Вага ребер може бути від'ємною. Застосування алгоритму - в програмуванні і технологіях. Наприклад, протоколи маршрутизації.	$O(V^2)$
Алгоритм пошуку A*	Знаходить маршрут з найменшою вартістю від однієї вершини (початкової) до іншої (цільової, кінцевої). Алгоритм пошуку по першому найкращому збігу на графі.	$O(\log V)$
Алгоритм Флойда-Воршелла	Знаходить найкоротші шляхи між усіма вершинами зваженого орієнтованого графа.	$O(V^3)$
Алгоритм Джонсона	Знаходить найкоротші шляхи між усіма парами вершин зваженого орієнтованого графа.	$O(V^2 + \log V + VE)$
Алгоритм Лі (хвильовий алгоритм)	Заснований на методі пошуку в ширину. Знаходить шлях між вершинами s і t графа (s не збігається з t), містить мінімальну кількість проміжних вершин (ребер).	Близька до $O(V^2)$.

Завдання дослідження. Метою роботи є розробка методу побудови безпечної траєкторії руху безпілотного літального апарату. Для цього поставлені завдання:

- аналіз сучасного стану розвитку технологій безпілотних летальних апаратів, програмного забезпечення та ресурсів отримання, обробки та уявлення у зручних для програмної обробки форматах картографічних даних місцевості, методів побудови маршрутів на основі графових моделей;
- вибір параметрів та обмежень фізичної моделі БПЛА для розрахунку траєкторії руху, розробка методу та програмної моделі побудови траєкторії руху;
- отримання характеристик, аналіз та візуалізація траєкторії руху БПЛА;
- дослідження результатів застосування розроблених моделей і методів з використанням реальних картографічних даних місцевості.

Основний матеріал дослідження. Найбільш поширеними для використання форматами надання мап є наступні:

- 1) OSM XML – XML-формат, наданий API;
- 2) PBF – високо стислий, оптимізований двійковий формат, подібний до API;
- 3) o5m – формат для високошвидкісної обробки, використовує кодування PBF, має ту ж структуру, що і формат XML;
- 4) Overpass JSON – варіант формату JSON OSM XML;
- 5) Level0L – більш людсько-читабельний формат OSM XML зниженої надмірності.

Для отримання реальної мапи середовища використовується веб-картографічний проект OpenStreetMap (OSM), який надає детальну вільну і безкоштовну географічну карту світу [3].

Для методу побудови траєкторії руху БПЛА використані наступні початкові дані:

- 1) просторова карта середовища польоту з перешкодами, надана у файлі формату OBJ;
- 2) розмір БПЛА, що задається вказанням радіусу сфери, що його вміщує;
- 3) діапазон висот польоту стабільного робочого польоту БПЛА, що задається мінімальною та максимальною значеннями висот;
- 4) мінімальна відстань від перешкод до БПЛА при його переміщенні;
- 5) тривимірні координати у просторі початкової та кінцевої точок, між якими визначається траєкторія руху;
- 6) швидкість польоту БПЛА;
- 7) дальність польоту БПЛА.

При побудові траєкторії руху вихідними даними є:

- 1) множина тривимірних координат простору, у вигляді послідовності точок, в які БПЛА буде переміщуватися при польоті або її відсутність у разі недосяжності переміщення БПЛА по заданим характеристикам з початкової точки до кінцевої;
- 2) довжина траєкторії;
- 3) затрачений час БПЛА для переміщення по обраній траєкторії;
- 4) затрачений час на побудову траєкторії руху з урахуванням усіх початкових даних.

Модель середовища – це модель, яка містить інформацію про вершини, що містяться в файлі моделі OBJ і об'єктах–перешкодах на можливому шляху переміщення БПЛА.

Використання моделі середовища для побудови траєкторії руху графовими методами побудови маршрутів потребує подальшу її обробку та перетворення даних у вигляд, який можливо інтерпретувати як граф, що забезпечить можливість застосування графових алгоритмів. Для цього необхідна модель мапи середовища.

Модель мапи середовища – це модель середовища у вигляді тривимірної булевої матриці (мапи), кожен осередок якої має логічне значення false (0) або true (1). Певне значення залежить від наявності (false) або відсутності (true) в даному місці простору перешкоди та позначає недоступність або доступність точки простору для БПЛА.

Середовище дискретизується згідно заданого кроку розбиття згідно наступних формул:

$$X = \text{div} \left(\frac{\left(x + \frac{\text{step}}{2}\right)}{\text{step}} \right),$$

$$Y = \text{div} \left(\frac{\left(y + \frac{\text{step}}{2}\right)}{\text{step}} \right),$$

$$Z = \text{div} \left(\frac{\left(z + \frac{\text{step}}{2}\right)}{\text{step}} \right),$$

де x, y, z – координати точки простору;

X, Y, Z – координати точки в сітці простору;

$step$ – крок розбиття простору середовища.

Тобто, кожна точка простору відноситься до вузла умовної сітки простору (рис. 1).

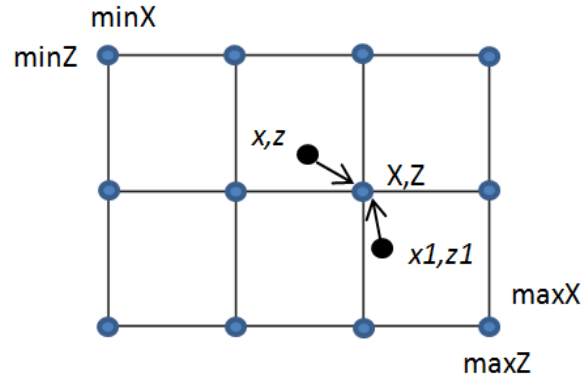


Рисунок 1 – Дискретизація точок простору проекції на площину xOz

На рисунку 2(а) показано розташування похідного трикутника пунктирною лінією, трикутника з урахуванням мінімальної відстані та розмірів БПЛА суцільною лінією відповідно до вузлів сітки простору. На рисунку 2(б) наведено відповідний стан фрагменту матриці середовища, де сірим позначені осередки матриці зі значеннями false (перешкоди).

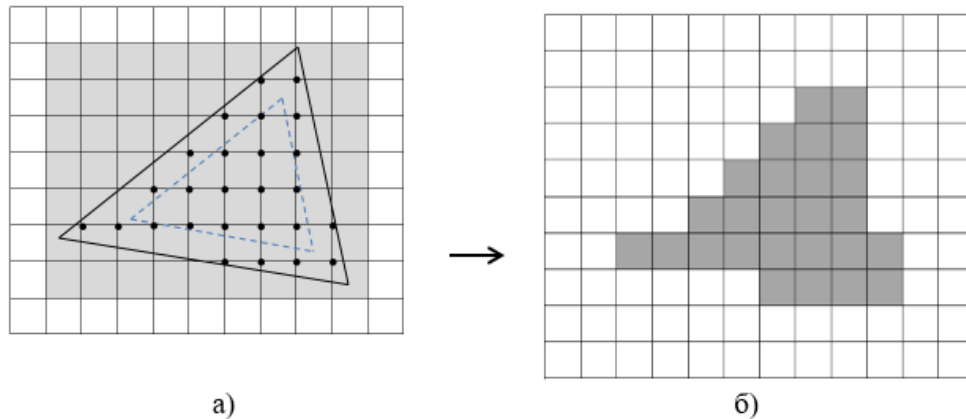


Рисунок 2 – Приклад заповнення матриці середовища
(а – недоступні вузли сітки, б – матриця середовища з false осередками)

На рисунку 3 наведена узагальнена блок-схема алгоритму побудови моделі мапи середовища.

Інформаційні технології



Рисунок 3 – Узагальнена блок-схема алгоритму побудови моделі мапи середовища

Для побудови траєкторії руху БПЛА на основі даних моделі мапи середовища використаний алгоритм Дейкстри.

ВИСНОВКИ

1. Обрано початкові та вихідні дані для побудови траєкторії руху БПЛА у середовищі, що є характеристиками БПЛА, середовища та зовнішні картографічні дані, обґрунтовано їх використання та необхідність обмеження діапазону числових значень.

2. Запропонована модель середовища на основі даних картографічного ресурсу про об'єкти-перешкоди для руху БПЛА, що зберігає мінімальний набір даних для подальшої обробки.

3. Запропонована модель мапи середовища на основі побудованої моделі середовища. Модель – це фрагмент середовища у вигляді тривимірної булевої матриці, що дозволяє використовувати дані про фрагмент середовища у якості графу для застосування до неї графових методів побудови маршрутів.

4. Представлена узагальнена блок-схема алгоритму побудови моделі мапи середовища.

Список використаних джерел:

1. Корченко, А. Г. Обобщённая классификация беспилотных летательных аппаратов / А. Г. Корченко, О. С. Ильин // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – 2012. – № 4 (33). – С. 27–36.

2. Кошкин, Р. П. Беспилотные авиационные системы / Р. П. Кошкин. – М. : Стратегические приоритеты, 2016. – 676 с.

3. JOSM [Electronic resource]. – Mode of access: <https://josm.openstreetmap.de/wiki/Ru%20%3AWikiStart>

Кривенко О. В., Лемещенко Н. И.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

В настоящее время широко применяют беспилотные летательные аппараты (БПЛА) при решении задач гражданского и милитаризованного характера. Такой летательный аппарат совершает полет с помощью удаленного управления или автономно по предварительно рассчитанных траекториях полета.

Одной из основных задач обеспечения безопасного полета БПЛА является задача построения траектории движения его перемещения в реальных условиях. Традиционно задача построения траектории, по которой будет двигаться БПЛА рассматривается как задача поиска пути на графе: вершинам графа соответствуют точки положения объекта в пространстве, а ребрам - элементарные траектории, прохождения БПЛА по которым считается тривиальной задачей. Таким образом, задача планирования траектории сводится к двум подзадачам: построению графа, моделирующего окружающую среду БПЛА, и поиску пути на этом графе. Методы поиска пути на графе обычно базируются на итерационном обходе вершин графа по принципу Дейкстры.

Объектом исследования в работе является процесс построения последовательности точек пространства, представляет из себя траекторию движения и обеспечивает

безопасное перемещение по ним беспилотного летательного аппарата. Предметом исследования являются методы построения маршрутов на графах, представления и программная обработка пространственных карт среды.

Цель работы заключается в разработке метода построения безопасной траектории движения беспилотного летательного аппарата между двумя заданными точками пространства. Методы исследований базируются на методах и основных положениях теории информации и теории графов.

Научная новизна заключается в новых подходах к обработке данных пространственных карт, представление их в виде программных и графов моделей и построения на их основе траектории движения беспилотного летательного аппарата.

Практическое значение состоит в повышении эффективности и использования программных систем при решении задач построения, вычисления характеристик и визуализации траектории движения беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: *беспилотный летательный аппарат, пространственная карта, модель, параметры, траектория, маршрут, алгоритм координаты система координат, компьютерная система, граф.*

Kryvenko O. V., Lemeshchenko M. I.

INVESTIGATION OF METHODS OF MODELING THE TRACTION OF THE MOVEMENT OF AN UNMANNED AIRCRAFT

Currently, unmanned aerial vehicles (UAVs) are widely used in solving problems of a civil and militarized nature. Such an aircraft flies by remote control or autonomously along pre-calculated flight paths.

One of the main tasks of ensuring the safe flight of the UAV is the task of constructing the trajectory of its movement in real conditions. Traditionally, the task of constructing a trajectory along which the UAV will move is considered as a task of finding a path on a graph: the vertices of the graph correspond to the points of the object's position in space, and the edges correspond to elementary trajectories, the passage of the UAV along which is considered a trivial task. Thus, the trajectory planning task is reduced to two subtasks: building a graph that simulates the UAV environment, and finding a path along this graph. Graph pathfinding methods are usually based on iterative traversal of graph vertices according to Dijkstra's principle.

The object of research in this work is the process of constructing a sequence of points in space, it is a trajectory of movement and ensures the safe movement of an unmanned aerial vehicle along them. The subject of research is methods of constructing routes on graphs, representation and software processing of spatial maps of the environment.

The purpose of the work is to develop a method for constructing a safe trajectory of movement of an unmanned aerial vehicle between two given points in space. Research methods are based on the methods and fundamentals of information theory and graph theory.

Scientific novelty lies in new approaches to the processing of spatial maps data, their representation in the form of software and graphs of models and building on their basis the trajectory of the movement of an unmanned aerial vehicle.

The practical value lies in increasing the efficiency and use of software systems in solving problems of constructing, calculating characteristics and visualizing the trajectory of movement of unmanned aerial vehicles.

Keywords: *unmanned aerial vehicle, spatial map, model, parameters, trajectory, route, coordinate algorithm coordinate system, computer system, graph*

Рецензент: доц., канд. техн. наук Левицька Т. О.

Стаття надійшла 30.11.2020 р.

УДК 004.42

Абдулалімов В. Є., Дубовкіна М. Ю., Левицька Т. О., Хохлова К. Ю.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОВОЇ РОБОТИ ФУТЕРОВКИ ЧАВУНОВОЗНИХ КОВШІВ

В роботі розглядається розробка системи моделювання теплової роботи футеровки чавуновозних ковшів, що протікає в міру просування рідкого чавуну від моменту випуску з доменної печі до заливання його в сталеплавильний агрегат. Для киснево-конвертерного виробництва велике значення має як стабільний хімічний склад, так і температура чавуну. Це дозволяє значно збільшити продуктивність сталеплавильних агрегатів в результаті стандартизації процесів і усунення плавок з додувками, а також скоротити втрати металу.

Наукова необхідність полягає в візуалізації цього процесу, в розрахунку його характеристик і оптимізації технологічних і конструкційних параметрів з метою поліпшення якості продукції. Метою даної роботи є дослідження і розробка системи моделювання теплової роботи футеровки чавуновозних ковшів, яка складається з визначення температури контакту футеровки з розплавом чавуну і визначення втрат тепла на акумуляцію кладкою. Для досягнення зазначеної мети вирішені наступні завдання: проведений аналіз відомих підходів до визначення втрат тепла на акумуляцію кладкою, обрані методи та засоби вирішення наукової проблеми, отримані залежності для визначення температури контакту футеровки з розплавом і товщини активного шару футеровки, удосконалено метод визначення втрат тепла на акумуляцію кладкою, визначена акумулююча здатності активного шару футеровки в процесі експлуатації, розроблена система моделювання теплової роботи футеровки чавуновозних ковшів. В основі математичної моделі лежить метод визначення втрат тепла на акумуляцію кладкою чавуновозного ковша, в якому враховані температура поверхні (контакту) футеровки - чавун, що залежить від теплофізичних властивостей вогнетрива і розплаву. В роботі встановлено зміну цих властивостей в результаті проникнення чавуну в шви і пори вогнетривної кладки. Визначено фактичне значення коефіцієнта акумулюючої здатності футеровки чавуновозних ковшів, що дозволило встановити причину підвищених втрат на акумуляцію і намітити заходи щодо їх зниження.

Ключові слова: *слова: модель, акумулююча здатність, тепла робота, футеровки, чавуновозний ковш, розплав.*