

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ БПЛА

В.А. Малиновкин, Н.В. Валуйских, В.Ф. Барабанов, М.Н. Аралов, А.В. Барабанов

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

Аннотация: область применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) всё больше расширяется. Они способны выполнять такие задачи, как доставка грузов, поиск пропавших, мониторинг и определение незаконных действий, проведение измерений уровня радиаций, температуры, взятие проб материалов для их анализа. Следует отдельно упомянуть, что БПЛА вносят свой вклад в спасательные операции, тушение пожаров, орошение полей и в военные действия. Рассмотрены основные функциональные возможности беспилотных летательных аппаратов, такие как высокое качество аэрофотосъемки, точное определение геопозиции, удаленное управление устройством. Определены следующие недостатки БПЛА: отсутствие функционала или наличие функционала с низкой точностью по проведению маршрута и его корректировки в зависимости от внешних факторов, потеря удаленного управления при утрате связи с дроном или поломкой камеры. Был произведен обзор интеллектуальных систем поддержки принятия решений на основе машинного обучения, глубоких сетей, Байесовских сетей и теории игр. Представлена сравнительная характеристика по ключевым параметрам: базовая принадлежность, необходимость обучения, время на обучение, точность, производительность, главные задачи при использовании и структура, объяснение выбора Байесовских сетей для решения поставленной задачи. Также в статье были предложены решения по устранению ранее упомянутых недостатков. Система принятия решений на базе Байесовской сети способна обрабатывать несколько источников данных, таких как информация о проложенном пути, информация от второстепенных источников с координатами труднодоступной местности и информация с распознанных изображений; а также способна принимать решение о дальнейшем передвижении. Такая реализация способна не только решить обозначенные проблемы, но и повысить показатель отказоустойчивости в системе управления БПЛА

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, система принятия решений, машинное обучение, глубокие сети, теория игр, Байесовские сети

Введение

В настоящее время беспилотные летательные аппараты приобрели широкое использование в различных сферах деятельности человека. Так, например, беспилотные летательные аппараты (БПЛА) могут выполнять следующие задачи: доставка грузов, поиск пропавших, мониторинг и определение незаконных действий, проведение измерений уровня радиаций, температуры, взятие проб материалов для их анализа и т.д. Также дроны принимают участие в спасательных операциях, тушениях пожаров, осуществляют непрерывный мониторинг с целью распознавания опасности, в военных конфликтах.

Нередко участие БПЛА в той или иной операции гарантирует сохранение жизни и здоровья человека. Однако на текущий момент распространено удаленное управление беспилотниками [1]. Компания Yandex отходит от концепции использования такого рода управления и выпустила свой наземный дрон, который самостоятельно определяет препятствия и пре-

одолевает их. Такие роботы уже активно используются в сфере доставки грузов [2].

Программное управление БПЛА является актуальной задачей на сегодняшний день, так как пока нет достижения желаемых показателей качества и быстродействия. Однако с покрытием этой задачи рамки использования беспилотных летающих аппаратов значительно расширятся.

Обзор функциональных возможностей беспилотных летательных аппаратов

Рассмотрим основные функциональные преимущества беспилотных летательных аппаратов [3].

1) высокое качество аэрофотосъемки. Конструкция БПЛА включает в себя наличие камеры высокого разрешения, что позволяет производить аэрофотосъемку и получать данные, которые используются для аккумулирования и построения моделей для анализа поверхности.

2) точное определение геопозиции. Программное обеспечение с системой GPS позволяет с достаточно высокой точностью двигаться к поставленной цели, совершать маневры и возвращаться на базу посадки.

3) удаленное управление устройством. Беспилотные летательные аппараты могут управляться дистанционно, транслируя изображение на экран пилота. С помощью этой ключевой особенности устройства способны проникать в труднодоступные места, предоставляя возможность анализа изображения операторам [4].

За счет своей структуры беспилотные дроны могут быть использованы в экстремальных ситуациях. Однако существуют отрицательные стороны, которые не позволяют в полной мере раскрыть потенциал аппаратов, такие как: отсутствие функционала или наличие функционала с низкой точностью по проведению маршрута и его корректировки в зависимости от внешних факторов, эффективное взаимодействие между БПЛА. Кроме этого удалённое управление становится невозможным при потере связи с дроном или поломкой камеры.

При запрограммированном движении дрона стоит задача не только достижения поставленной цели с высокой точностью, но и гибкости ее исполнения. В ситуации, когда следует сменить трек своего пути, отклонение от маршрута или прокладывания нового путем анализа местности, БПЛА показывает низкую работоспособность. Такая ситуация, как показывает практика, заканчивается поломкой аппарата.

Для решения такого рода задач необходимо внедрение интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР). Рассмотрим основные модели системы на базе машинного обучения, глубокого обучения, Байесовских сетей и теории игр.

Обзор интеллектуальных систем поддержки принятия решений

Машинное обучение

Модели ИСППР на базе машинного обучения созданы для обработки, аккумулирования входных данных с последующим обучением. Само обучение может быть контролируемым и самостоятельным. При контролируемом обучении предоставляется связка входных значений и получаемого результата. Точность такого подхода пропорциональна количеству предоставленных данных для обучения. Для этого обучения используются такие алгоритмы, как линейная и логистическая регрессия, мультиклассовая квалификация и метод опорных векторов. Этот вариант машинного обучения является наиболее популярным, так как можно регулировать покрытие вариаций выходной

величины путём изменения данных для обучения, следовательно, увеличивается точность. При самостоятельном обучении у системы отсутствуют эталонные данные, и обучение происходит непосредственно по тем результатам, которые существуют. Для этого обучения используются такие алгоритмы, как кластеризация методом k – средних, анализ основных и независимых компонентов и ассоциативные правила.

Глубокое обучение

Глубокое обучение – совокупность методов машинного обучения, основанных на имитации работы человеческого мозга в процессе обработки данных и создания паттернов, необходимых для принятия решений. Оно предназначено для работы с большим объемом данных и использует сложные алгоритмы для обучения модели. На рис. 1 отображён график зависимости производительности от объема данных для глубоких, средних, поверхностных и традиционных нейронных сетей.

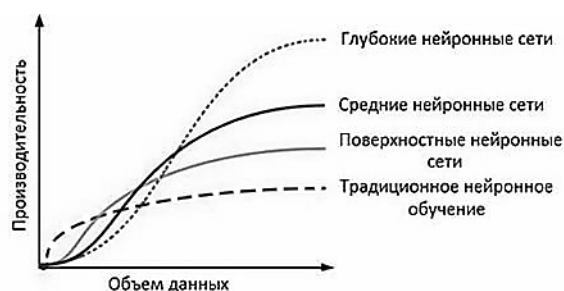


Рис. 1. График зависимости производительности от объема данных для глубоких, средних, поверхностных, традиционных нейронных сетей

На рис. 2 представлена структура нейронных сетей. Рассмотрим структуру глубокой нейронной сети.

Структура такой сети содержит три типа слоев:

- 1) входной слой;
- 2) скрытый слой;
- 3) выходной слой.

Входной слой принимает входные данные. Скрытые слои выполняют математические вычисления со входными данными. Глубина такой сети определяется количеством скрытых слоев. Выходной слой выдаёт выходные данные.

Глубокие сети часто используют в задачах распознавания голоса, изображения.

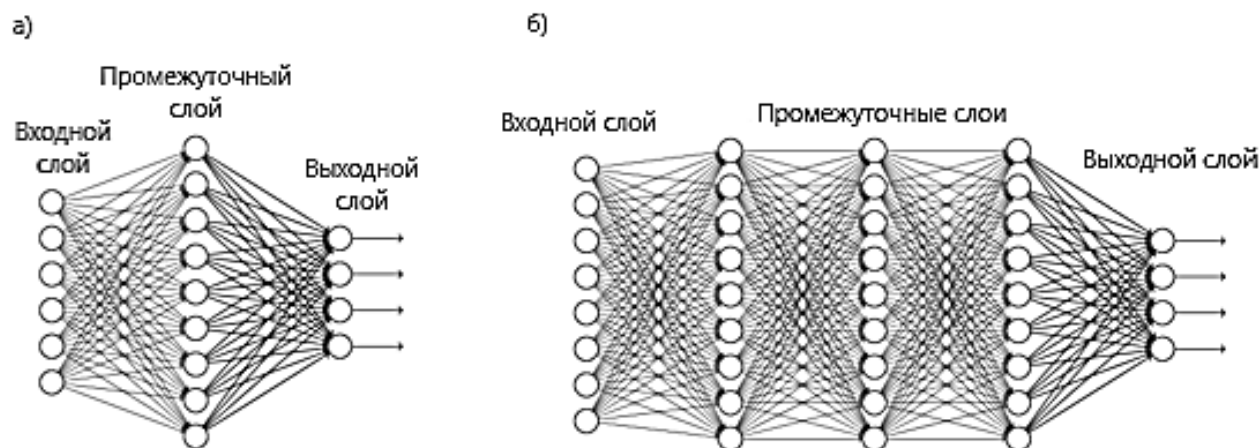


Рис. 2. Структура нейронных сетей:
а) неглубокие нейронные сети; б) глубокие нейронные сети

Байесовские сети

Байесовская сеть – это ориентированный ациклический граф, в котором каждой вершине соответствует случайная переменная. Его дуги кодируют отношения условной независимости между этими переменными.

Формула (1) позволяет определить необходимую величину вероятности в каждой вершине графа.

$$P(V_1, \dots, V_n) = \prod_{i=1}^n P(V_i | \text{parents}(V_i)), \quad (1)$$

где V_i – событие в вершине графа, $\text{parents}(V_i)$ – событие в вершине графа родителя.

Благодаря теореме Байеса возможно изменение значения вероятности, основанного на полученных или уже существующих данных. Общий смысл Байесовского подхода в следующем: пусть вначале реорганизации конкретного объекта есть n гипотез Q_1, Q_2, \dots, Q_n , характеризующих его различные возможные состояния. Основываясь на статистических данных, возможно обозначить им априорные вероятности $P(Q_1), P(Q_2), \dots, P(Q_n)$. Затем следуют экспериментальные действия, от результата которых зависит, наступит ли событие или нет некое событие F . Затем определяются условные вероятности возникновения события F при выборе i -й гипотезы $P_{Q_i}(F)$ как частоты наблюдения события F . Если событие F наступает, то происходит переоценка каждой гипотезы с помощью замены вероятностей $P(Q_i)$ на вероятности $P_F(Q_i)$.

Теория игр

Теория игр – раздел математики, которых изучает математические модели принятия решений в конфликтных ситуациях. Смысл теории в следующем: независимо от цели игры и её обстоятельств найдётся стратегия, которая позволит добиться успеха по определённым правилам. Теория игр используется в основном в задачах оптимизации при конфликтах участников игры, правила которой известны.

Сравнительная характеристика интеллектуальных систем поддержки принятия решений

В табл. 1 представлена сравнительная характеристика интеллектуальных систем поддержки принятия решений. Сравнение прошло по ключевым параметрам: базовая принадлежность, необходимость обучения, время на обучение, точность, производительность, главные задачи при использовании и структура.

В ходе сравнения можно сделать вывод, что Байесовская сеть больше подходит для решения поставленной цели, так как она не требует предварительного обучения и может обрабатывать любую информацию, которая влияет на событие. Кроме того, Байесовские сети из-за своей структуры удобнее в использовании в сочетании с решением задачи оптимального пути, так как используется одна и та же структура.

Таблица 1

Сравнительная характеристика интеллектуальных систем поддержки принятия решений

| Признаки | Машинное обучение | Глубокие сети | Байесовские сети | Теория игр |
|---|--|---|--|---|
| Базовая принадлежность | Определение выходной величины путём обучения (контролируемого или неконтролируемого) | Определение выходной величины, путём обучения по слоям | Расчёт вероятностных связанных событий на основе новых и имеющихся статистических данных | Решение проблемы оптимизации в конфликте для достижения цели |
| Необходимость обучения | Да | Да | Нет | Нет |
| Время на обучение | Зависит от требуемой точности | Зависит от требуемой точности и количества данных | Не затрачивается | Не затрачивается |
| Точность | Зависит от правильного подбора эталонных данных | Зависит от количества данных для обучения | Зависит от актуальности входных данных | Зависит от достоверной информации правил игры |
| Производительность | Средняя | Зависит от количества данных | Зависит от количества взаимосвязанных событий | Низкая |
| Главные задачи при использовании | Для контролируемого обучения: подбор эталонных данных | Расчёт оптимального количества слоёв для минимизации времени на обучение и достижение желаемой точности | Перерасчёт вероятностей дочерних событий при изменении родительских | Определение правил игры, анализ поведения игроков, создание упрощённой модели конфликтной ситуации, определение стратегии |
| Структура | Входной и выходной слой | Входной, слой промежуточные слои и выходной слой | Ориентированный ациклический граф | Преимущественно матрица |

Разработка структуры системы поддержки принятия решений на основе Байесовской сети

При использовании решения на базе Байесовской сети система способна обработать несколько источников данных: информацию о проложенном пути, информацию от второстепенных источников с координатами труднодоступной местности и информацию с распознанных изображений; и принять решение о дальнейшем движении.

На рис. 3 изображена схема, которая отражает процесс принятия решения на основе нескольких источников данных с использованием Байесовской сети [5-7].

Цель рассматриваемого алгоритма – определение безопасного и оптимального пути для полёта БПЛА с возможностью его корректировки.

На вход системы подаются входные координаты конечной точки. Далее через систему построения маршрута определяются возможные маршруты до конечной точки. Выбор кратчайшего пути необходим для оптимизации выполнения задачи по времени. В графе, где вершины представляют собой точки с координатами, рассчитывается начальная вероятность успешного прохождения маршрута. В этом случае вероятность прохождения текущей точки зависит от вероятности прохождения следующей точки. Далее вероятности корректируются в зависимости от данных, влияющих на благоприятный исход прохождения маршрута относительно точек маршрута. Источником данных являются второстепенные источники и информация от системы распознавания изображений. После этого по наиболее высокой вероятности в каждой точке определяется оптимальный маршрут, по которому БПЛА начинает своё движение. Если в процессе движения возникают какие-либо препятствия, зафикси-

рованные системой распознавания изображения, датчиками или другими изменяющимися параметрами, происходит уведомление систем второстепенных источников и направление данных с корректировкой перемещения в блок пересчёта вероятностей, где определяется следующая вершина графа. Таким образом, происходит процесс поиска оптимального пути для достижения конечной точки.

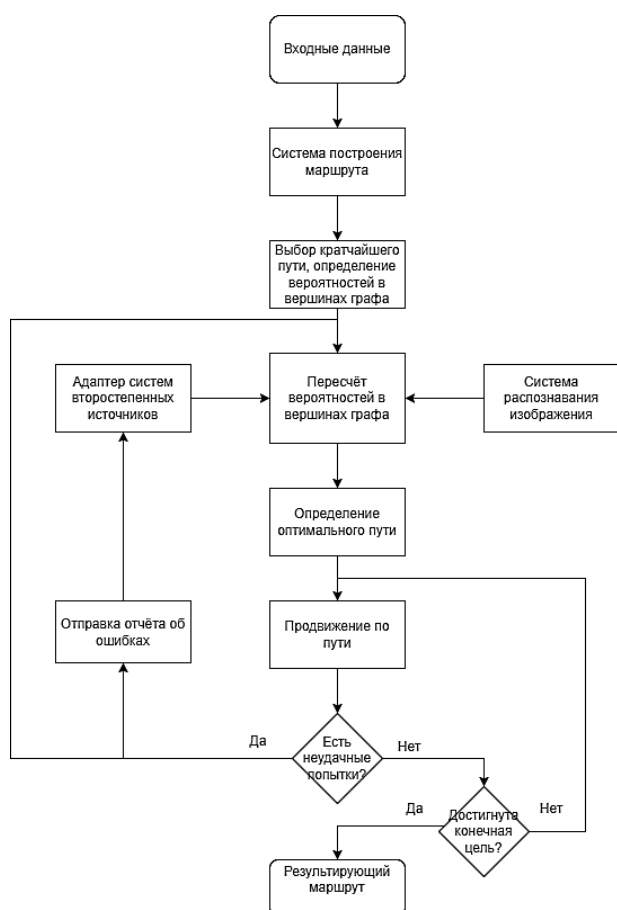


Рис. 3. Схема процесса принятия решения на основе нескольких источников данных с использованием Байесовской сети

Заключение

Был представлен обзор систем поддержки принятия решений и их сравнительная характеристика по следующим параметрам: базовая

принадлежность, необходимость обучения, время на обучение, точность, производительность, главные задачи при использовании и структура. В ходе сравнения был сделан вывод, что Байесовская сеть больше всего подходит для решения поставленной задачи, так как она не требует предварительного обучения, позволяет обрабатывать любую информацию, которая влияет на событие. Структура Байесовской сети удобнее в использовании для решения задачи нахождения оптимального пути.

Была представлена схема процесса принятия решения на основе информации от нескольких источников данных с использованием Байесовской сети, рассмотрен алгоритм принятия решения при построении маршрута до заданной точки.

В дальнейшем будет представлена реализация системы принятия решения вместе с второстепенными системами.

Литература

1. Моисеев В.С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов: монография. Казань: «Школа», 2015. 444 с.
2. Особенности классификации БПЛА самолетного типа / Н.С. Сенюшкин, Р.Р. Ямалиев, Д.В. Усов, М. А. Мураева // Молодой ученый. 2010. Т. 1. № 11. 68с.
3. Коршунов Н.А., Котельников Р.В. Борьба с лесными пожарами: проблема информационного обеспечения авиасредствами и ее решение // Пожарная безопасность. 2008. № 1. 129 с.
4. Кузнецов Г.А. Беспилотные летательные аппараты с поршневыми двигателями: история создания, применение и перспективы развития // Научное обозрение. 2010. № 3. С. 40-45.
5. Чекинов Г.П., Куляница А.Л., Бондаренко В.В. Применение ситуационного управления в информационной поддержке принятия решений при проектировании организационно-технических систем // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2003. № 2. С. 30-34.
6. Bonafede C.E., Giudici P. Bayesian networks for enterprise risk assessment // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2007. Vol. 382, issue 1. P. 22-28. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2007.02.065> (дата обращения: 26.10.2023).
7. Borsuk M. E., Stow C. A., Reckhow K. H. A Bayesian network of eutrophication models for synthesis, prediction, and uncertainty analysis // Ecological Modelling. 2004. Vol. 173. No 2. P. 219-239.

Поступила 30.10.2023; принята к публикации 12.12.2023

Информация об авторах

Малиновкин Владислав Алексеевич – аспирант, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: malinovkin@mail.ru

Валуйских Никита Владимирович – магистр, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: workvaluisish@mail.ru

Барабанов Владимир Фёдорович – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: bvf@list.ru

Аралов Михаил Николаевич – канд. техн. наук, старший преподаватель, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: aralow@mail.ru

Барabanов Александр Владимирович – канд. техн. наук, доцент, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: bav33@mail.ru

ANALYSIS OF THE MAIN FUNCTIONAL CAPABILITIES OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

V.A. Malinovkin, N.V. Valuyskikh, V.F. Barabanov, M.N. Aralov, A.V. Barabanov

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Abstract: the field of application for drones is expanding more and more. They are capable of performing such tasks as delivering supplies, searching for missing persons, monitoring and detecting illegal activities, measuring radiation levels and temperatures, and taking material samples for analysis. It should be mentioned separately that UAVs contribute to rescue operations, firefighting, field irrigation, and military operations. The main functionalities of unmanned aerial vehicles, such as high quality aerial photography, accurate geo-positioning, remote control of the device, are considered in the article. The following disadvantages of UAVs were identified: lack of functionality or availability of functionality with low accuracy on the route and its adjustment depending on external factors, loss of remote control in case of loss of communication with the drone or camera breakdown. The overview of intelligent decision support systems based on machine learning, deep learning networks, Bayesian networks and game theories was conducted. The comparative characteristic of key parameters is presented: basic affiliation, the need for training, training time, accuracy, performance, the main tasks when using and structure, explanation of the choice of Bayesian networks for solving the task. The article also proposed solutions to the previously mentioned disadvantages. The decision-making system based on the Bayesian network is able to process several data sources, such as: information about the route, information from secondary sources with the coordinates of the difficult terrain and information from the recognized images; and to decide on the further movement. Such an implementation can not only solve the above problems, but also increase the fault tolerance index in the UAV control system

Key words: drones, decision-making system, machine learning, deep networks, game theory, Bayesian networks

References

1. Moiseev V.S. "Fundamentals of the Theory of Effective Use of Unmanned Aerial Vehicles. Monograph" ("Osnovy teorii effektivnogo primeneniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov. Monografiya"), Kazan, Shkola, 2015, 444 p.
2. Senyushkin N. S., Yamaliev R.R., Usov D.V., Muraeva M.A. "Features of the classification of aircraft-type UAVs", *Young scientist (Molodoy uchenyy)*, 2010, no. 11, vol.1, p. 68.
3. Korshunov N.A., Kotelnikov R.V. "Fighting forest fires: the problem of information support by aircraft and its solution", *Fire safety (Pozharnaya bezopasnost)*, 2008, no. 1, p. 129.
4. Kuznetsov G.A. "Unmanned Aerial Vehicles with Piston Engines: History of Creation, Application and Development Prospects", *Scientific Review (Nauchnoye obozreniye)*, 2010, no. 3, pp. 40-45.
5. Chekinov G.P., Kulyanitsa A.L., Bondarenko V.V. "Application of situational management in information support for decision-making in the design of organizational and technical systems", *Information technologies in design and production (Informatsionnyye tekhnologii v proyektirovanii i proizvodstve)*, 2003, no. 2, pp. 30-34.
6. Bonafede C.E., Giudici P. "Bayesian networks for enterprise risk assessment", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2007, vol. 382, iss. 1, pp. 22-28, available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2007.02.065> (accessed 26.02.2013).
7. Borsuk M.E., Stow C.A., Reckhow K.H. "A Bayesian network of eutrophication models for synthesis, prediction, and uncertainty analysis", *Ecological Modelling*, 2004, vol. 173, no 2, pp. 219-239.

Submitted 30.10.2023; revised 12.12.2023

Information about the authors

Vladislav A. Malinovkin - Postgraduate student, Voronezh State Technical University (84 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh 394006, Russia), e-mail: malinovkin@mail.ru

Nikita V. Valuyskikh – Master's student, Voronezh State Technical University (84 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh 394006, Russia), e-mail: workvaluyskikh@mail.ru

Vladimir F. Barabanov – Dr. Sc. (Technical), Professor, Head of Department, Voronezh State Technical University (84 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh 394006, Russia), e-mail: bvf@list.ru

Mikhail N. Aralov – Cand. Sc. (Technical), Senior Lecturer, Voronezh State Technical University (84 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh 394006, Russia), e-mail: aralow@mail.ru

Alexander V. Barabanov – Cand. Sc. (Technical), Associate Professor, Voronezh State Technical University (84 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh 394006, Russia), e-mail: bvf@list.ru