

УДК 621.391

DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-1-0-7

Карви Дж.К.Дж.¹
Польщикова К.А.²**АЛГОРИТМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МУЛЬТИКОПТЕРА
ДЛЯ КОРРЕКТИРОВКИ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ
ВЫПАСАЕМЫХ ЖИВОТНЫХ**¹ Университет Мустансирия, ул. Аль-Кадисия, г. Багдад, 10001, Ирак² Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия*e-mail: jalalalqaisy1@gmail.com, polshchikov@bsuedu.ru***Аннотация**

В статье представлено исследование в сфере точного управления животноводством на основе применения беспилотных летательных аппаратов и сети Интернета вещей. Исследование посвящено решению актуальной научно-технической задачи, нацеленной на обеспечение своевременности использования мультикоптера для корректировки местонахождения выпасаемых животных. Предложена оригинальная классификация местоположения выпасаемых животных, учитывающая их удаленность от границы пастбища. Для получения координат местоположения животных предполагается применение геопозиционных трекеров, которые прикрепляются к каждой особи и функционируют в виде сетевых устройств. Разработан алгоритм поддержки принятия решений об использовании мультикоптера для корректировки местоположения выпасаемых животных. Проведена проверка работоспособности алгоритма на основе использования компьютерной программы, реализующей логику его работы. Полученные результаты подтверждают корректность функционирования предлагаемого алгоритма и позволяют сделать вывод о целесообразности его использования в практической деятельности.

Ключевые слова: Интернет вещей; беспилотный летательный аппарат; мультикоптер; точное управление животноводством; корректировка местоположения выпасаемых животных

Для цитирования: Карви Дж.К.Дж., Польщикова К.А. Алгоритм поддержки принятия решений об использовании мультикоптера для корректировки местоположения выпасаемых животных // Научный результат. Информационные технологии. – Т. 10, №1, 2025. – С. 66-76. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-1-0-7

Karwi J.Q.J.¹
Polshchikov K.A.²**ALGORITHM FOR DECISION SUPPORT ON USING A
MULTICOPTER TO ADJUST THE LOCATION
OF GRAZING ANIMALS**¹ Mustansiriya University, AL-Qadisiya St, Baghdad, 10001, Iraq² Belgorod State National Research University,
85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia*e-mail: jalalalqaisy1@gmail.com, polshchikov@bsuedu.ru***Abstract**

The article presents a study in the field of precision livestock management based on the use of unmanned aerial vehicles and the Internet of Things. The study is devoted to solving an urgent scientific and technical problem aimed at ensuring the timeliness of using a multicopter to adjust the location of grazing animals. An original classification of the location of grazing animals is proposed, taking into account their distance from the pasture boundary. To obtain the coordinates of the location of animals, it is proposed to use geo-location trackers that are attached to each individual and function as network devices. An algorithm has been developed to support decision-making on the use of a multicopter to adjust the location of grazing animals. The algorithm's

performance has been tested using a computer program that implements the logic of its operation. The results obtained confirm the correctness of the proposed algorithm and allow us to conclude that it is appropriate to use it in practice.

Keywords: Internet of Things; unmanned aerial vehicle; multicopter; precision livestock management; adjusting the location of grazing animals

For citation: Karwi J.Q.J., Polshchikov K.A. Algorithm for decision support on using a multicopter to adjust the location of grazing animals // Research result. Information technologies. – Т.10, №1, 2025. – P. 66-76. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-1-0-7

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для решения задач мониторинга и управления в различных сферах применяются беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [1–5], беспроводные самоорганизующиеся сети [6; 7], системы Интернета вещей (Internet of Things, IoT) [8–11], контролируемые с помощью технологий искусственного интеллекта [12–15]. Возможности БПЛА и IoT находят применение в рамках развивающегося научно-технического направления точного управления животноводством (Precision Livestock Management, PLM) [12; 16; 17]. Полученные с помощью беспилотных летательных средств аэрофотоснимки используются для обнаружения и подсчета крупного рогатого скота [14], мониторинга растительного покрова пастбищ [4]. БПЛА в реальном времени выполняют отслеживание сельскохозяйственных животных [1]. Технологии Интернета вещей также используются для мониторинга, управления и отслеживания скота [8; 18]. Ушные бирки с электронной идентификацией и ошейники с устройствами системы глобального позиционирования (Global Positioning System, GPS) применяются для контроля перемещения животных и выбора среды обитания [19]. Предлагаются трекеры, способные контролировать активность коров, анализируя данные с акселерометра, магнитометра, датчика температуры и модуля глобальной навигационной спутниковой системы, предоставляя их по широкополосной сети дальнего действия (LoRaWAN) на внутренний сервер [20]. На основе подобных носимых IoT-устройств создаются системы локализации выпасаемых животных [10; 21].

Важной задачей PLM является контроль местоположения животных и управление их перемещением по пастбищу. Один из способов корректировки местоположения выпасаемых животных основан на виртуальных ограждениях (Virtual Fencing, VF), которые используются вместо реальных физических ограждений [22]. При этом с помощью GPS-системы устанавливается виртуальная граница, которая предназначена для ограждения области пастбища [23]. Технология VF предусматривает применение устройства, закрепляемого на шее животного и способного издавать звуки, вибрировать и воздействовать на тело маломощным электрическим импульсом, когда животное приближается к границе пастбища или пересекает её [24]. Применение VF-подхода позволяет сократить трудозатраты, связанные с установкой обычных ограждений, однако требует затрат времени на обучение животных [25]. Исследователи этой технологии также отмечают опасения, связанные с недостаточным изучением её негативных аспектов. Использование виртуальных ограждений может наносить вред животным от получаемых стрессовых воздействий. К отрицательным последствиям VF-технологии относится, например, повышение концентрации кортизола в молоке коров, подверженных аудио- и электровоздействиям при пересечении виртуальной границы [23].

Корректировка местоположения выпасаемых животных может быть реализована на основе применения беспилотных летательных аппаратов. Для замены традиционных методов выпаса предложено использовать автономный лающий БПЛА, который позволяет в течение короткого времени собрать большое количество овец и перегнать их в требуемое место [26]. Имеются примеры успешного использования дистанционно управляемых квадрокоптеров для направления в заранее определенную область стада лошадей [27]. С помощью БПЛА осуществляется выпас и поиск потерянных яков [28]. Проводятся исследования поведенческих реакций коров на использование дронов для управления выпасом [29]. Выполнение функционала роботов-пастухов, реализованных, в том числе, на основе БПЛА, в литературе получил название интеллектуального выпаса [5]. При

этом беспилотные летательные аппараты используются для ограничения движения стада и направления отставших животных в общую группу [30].

Хорошими перспективами в решении задач точного сельского хозяйства, в том числе корректировки местоположения выпасаемых животных, обладает совместное использование БПЛА и систем Интернета вещей [31; 32]. Наблюдение за стадом может осуществляться с помощью IoT-сети, а необходимость использования беспилотных летательных аппаратов возникает в экстренных случаях, когда требуется немедленное управляющее вмешательство. Такой подход позволяет БПЛА не находиться длительное время в непрерывном полете, т.е. способствует их более рациональному и экономичному применению. При этом используются, как правило, мультироторные беспилотные летательные аппараты, именуемые мультикоптерами. Реализация указанного подхода требует решения ключевой задачи, состоящей в обеспечении своевременного принятия решений об использовании БПЛА для корректировки местоположения животных. Анализ научно-технической литературы показал, что решению этой задачи уделяется недостаточно внимания, что определяет актуальность представляемого исследования. Целью статьи является совершенствование PLM-процессов на основе разработки алгоритма поддержки принятия решений об использовании мультикоптера для корректировки местоположения выпасаемых животных. Для достижения указанной цели, прежде всего, предлагается классифицировать местоположение животных с точки зрения необходимости применения БПЛА для его корректировки.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЖИВОТНЫХ

Местоположение выпасаемых животных можно классифицировать с учетом близости текущей локации особи к границе пастбища. Пересечение этой границы животными крайне нежелательно, потому что грозит теми или иными опасностями (падение в пропасть, нападение хищников, хищение злоумышленниками и т.д.). Предположим, что пастбище имеет форму круга. Расстояние от центра пастбища до точки текущего местоположения животного обозначим RT . В зависимости от значения этой величины местоположение животного может соответствовать одному из 4 классов (см. таблицу 1).

Таблица 1

Критерии классов местоположения выпасаемых животных

Table 1

Criteria for location classes of grazing animals

Классы	Критерии
0 класс	$RT \leq R0$
1 класс	$R0 < RT \leq R0 + D0$
2 класс	$R0 + D0 < RT \leq R0 + D0 + D1$
3 класс	$RT > R0 + D0 + D1$

В таблице 1 обозначены следующие величины: $R0$ – радиус безопасной области пастбища; $D0$ – расстояние от границы местоположения 0 класса до границы местоположения 1 класса; $D1$ – расстояние от границы местоположения 1 класса до границы местоположения 2 класса.

Чем выше класс, чем более опасным является местоположение животного. В процессе выпаса необходимо корректировать местоположение животного, направляя его, при необходимости, в безопасную область, т.е. в область 0 класса. К каждому выпасаемому животному прикрепляется GPS-трекер, подключенный по протоколу LoRaWAN к развернутой на пастбище IoT-сети. Данные о текущем местоположении животного из трекеров передаются на сетевой сервер и выводятся на интерактивный экран панели управления оператора-пастуха. В соответствии с этими данными вычисляются значения RT и определяются классы местоположения контролируемых животных.

Если животное находится в области 0 класса (рисунок 1), то наблюдение за ним осуществляется в обычном режиме.

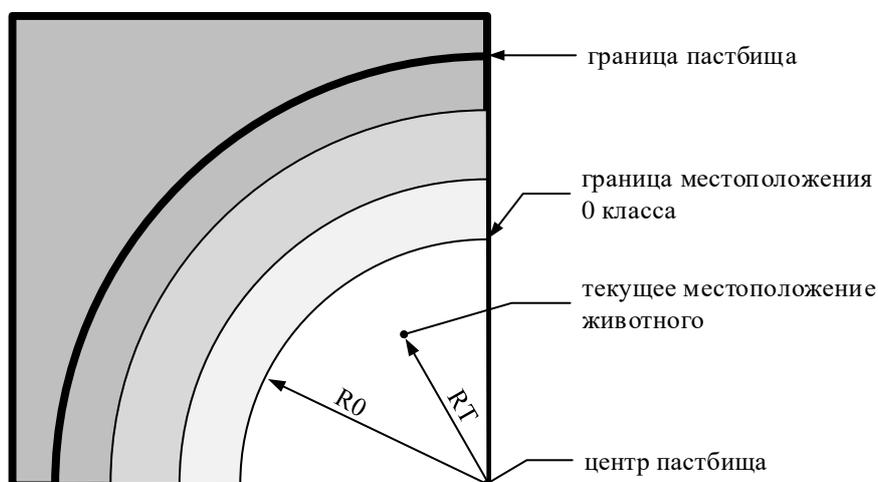


Рис. 1. Пример местоположения 0 класса на фрагменте пастбища
Fig. 1. Example of class 0 location on a pasture fragment

При перемещении особи в область 1 класса (рисунок 2) наблюдение за ней переводится в особый режим.

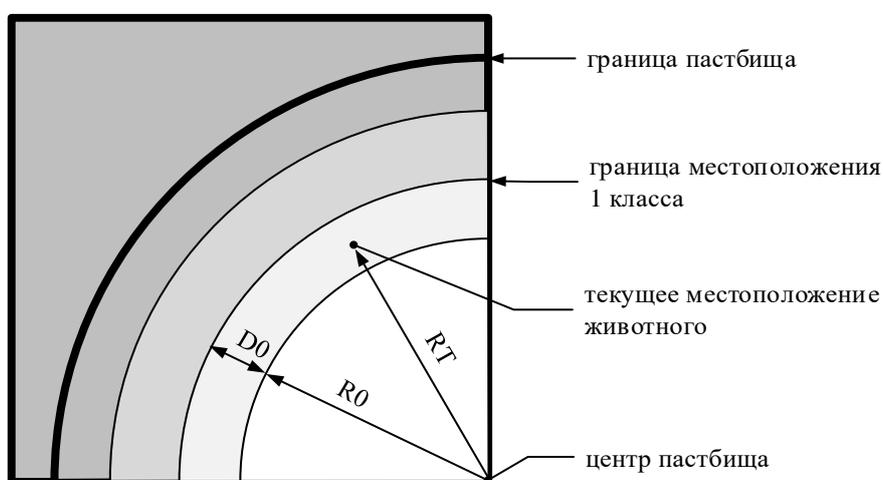


Рис. 2. Пример местоположения 1 класса на фрагменте пастбища
Fig. 2. Example of class 1 location on a pasture fragment

Если местоположение животного соответствует 2 классу (рисунок 3), то оператору-пастуху рекомендуется прибегнуть к использованию мультикоптера, с помощью которого следует направить особь в безопасную часть пастбища. В таких случаях при своевременном принятии решения об использовании БПЛА безопасность животного гарантируется.

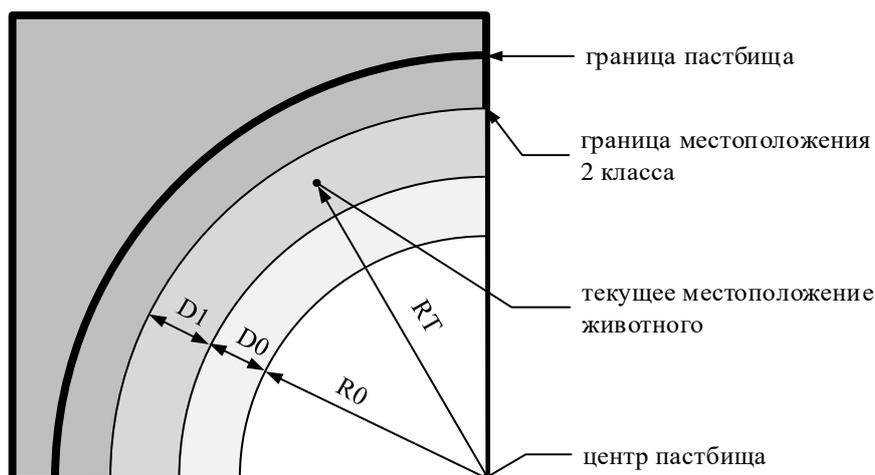


Рис. 3. Пример местоположения 2 класса на фрагменте пастбища
Fig. 3. Example of class 2 location on a pasture fragment

Самым опасным для животного является местоположение 3 класса. Если особь оказывается в области этого класса, то для корректировки её местоположения рекомендуется немедленно использовать мультикоптер, но при этом не гарантируется обеспечение безопасности животного. Очевидно, что важное значение имеет своевременность принятия решения об использовании БПЛА на пастбище. В целях поддержки принятия таких решений предлагается алгоритм, разработка которого представлена ниже.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА

С учетом представленных выше критериев разработан алгоритм поддержки принятия решений об использовании мультикоптера для корректировки местоположения выпасаемых животных. Его блок-схема показана на рисунке 4. Алгоритм предполагает выполнение шагов, представленных ниже.

Шаг 1. Начало алгоритма.

Шаг 2. Вводятся исходные данные. Вводятся начальные значения: номер текущего интервала времени t устанавливается равным 0; номер трекера ID устанавливается равным 0; величина RT (расстояние от точки местоположения животного до центра пастбища) устанавливается равным 0. Вводится конечное значение T номера интервала времени.

Шаг 3. Выполняется процедура, в ходе которой вычисляются следующие величины: $R0$ – радиус безопасной области пастбища; $D0$ – расстояние от границы местоположения 0 класса до границы местоположения 1 класса; $D1$ – расстояние от границы местоположения 1 класса до границы местоположения 2 класса; $D2$ – расстояние от границы местоположения 2 класса до границы пастбища; $PR0$ – период отправки сообщений трекерами, находящимися в области местоположения 0 класса; $PR1$ – период отправки сообщений трекерами, находящимися в областях местоположения 1, 2 или 3 классов. Начальная величина PR (периода отправки сообщений о местоположении животных) устанавливается равным $PR0$.

Шаг 4. Номер текущего интервала времени t увеличивается на 1. Если величина t превышает значение T , то осуществляется переход к шагу 13. В противном случае выполнение алгоритма переходит к шагу 5.

Шаг 5. Проверяется выполнение условия о получении данных о местоположении контролируемого животного. Если данные получены, то осуществляется переход к шагу 6. В противном случае выполнение алгоритма возвращается к шагу 4.

Шаг 6. Определяется ID трекера, из которого получены данные о местоположении животного. Вычисляется величина RT .

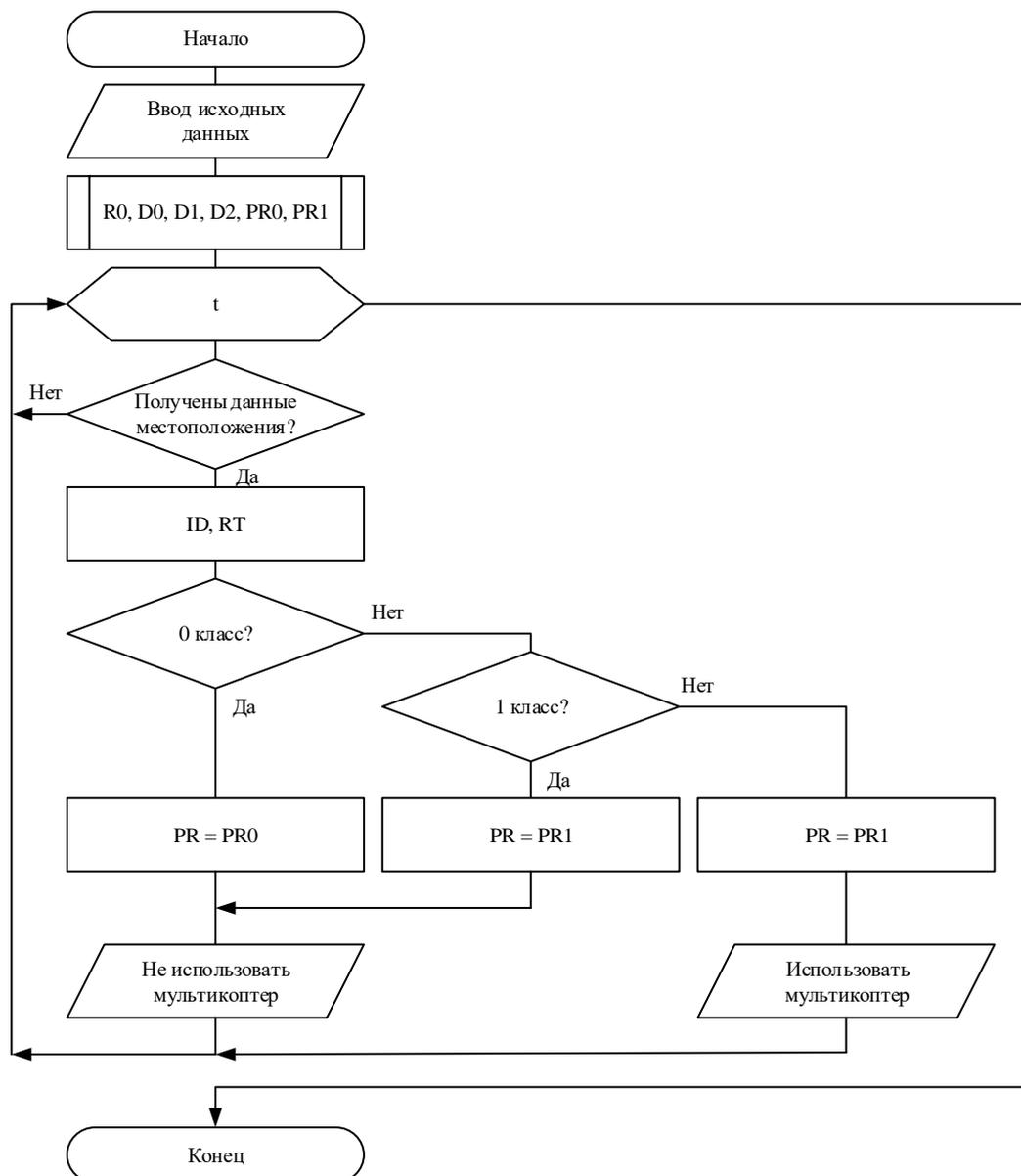


Рис. 4. Блок-схема предлагаемого алгоритма
Fig. 4. Block diagram of the proposed algorithm

Шаг 7. Проверяется условие принадлежности местоположения животного к 0 классу:

$$RT \leq R0. \quad (1)$$

Если условие (1) выполняется, то осуществляется переход к шагу 8. В противном случае выполнение алгоритма переходит к шагу 10.

Шаг 8. Значение периода PR отправки сообщений о местоположении животных трекером с номером ID устанавливается равным $PR0$. Выполнение алгоритма переходит к шагу 11.

Шаг 9. Проверяется условие принадлежности местоположения животного к 1 классу:

$$R0 < RT \leq R0 + D0. \quad (2)$$

Если условие (2) выполняется, то осуществляется переход к шагу 10. В противном случае выполнение алгоритма переходит к шагу 12.

Шаг 10. Значение периода PR отправки сообщений о местоположении животных трекером с номером ID устанавливается равным $PR1$.

Шаг 11. Осуществляется вывод сообщения о том, что не рекомендуется использовать мультикоптер для корректировки местоположения животного, к которому прикреплен трекер с номером ID. Выполнение алгоритма возвращается к шагу 4.

Шаг 12. Значение периода PR отправки сообщений о местоположении животных трекером с номером ID устанавливается равным PR1.

Шаг 13. Осуществляется вывод сообщения о том, что рекомендуется использовать мультикоптер для корректировки местоположения животного, к которому прикреплен трекер с номером ID. Выполнение алгоритма возвращается к шагу 4.

Шаг 14. Конец алгоритма.

ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ АЛГОРИТМА

Логика разработанного алгоритма реализована в виде компьютерной программы, написанной на языке программирования Python версии 3.12.5. Эта программа использована для проверки работоспособности алгоритма на основе результатов вычислительных экспериментов. В качестве примера в таблице 2 представлены данные, полученные при вычислениях и использованные для проверки логики работы алгоритма в четырех характерных случаях, соответствующих разным классам местоположения контролируемых животных.

Таблица 2

Данные, использованные для проверки логики работы алгоритма

Table 2

Data used to test the logic of the algorithm

№ п/п	ID	R0, м	D0, м	D1, м	RT, м	Класс
1.	118	178,4	98,4	16,9	151	0
2.	429				264	1
3.	612				285	2
4.	235				314	3

Информация, отображаемая в окне компьютерной программы для каждого проверяемого случая, представлена на рисунке 5.

```

IDLE Shell 3.12.5
File Edit Shell Debug Options Window Help
>>>
===== RESTAR
T: D:\algorithm.py =====
ID=118
Не использовать мультикоптер
>>>
===== RESTAR
T: D:\algorithm.py =====
ID=429
Не использовать мультикоптер
>>>
===== RESTAR
T: D:\algorithm.py =====
ID=612
Использовать мультикоптер
>>>
===== RESTAR
T: D:\algorithm.py =====
ID=235
Использовать мультикоптер
>>>
Ln: 19 Col: 0

```

Рис. 5. Окно вывода результатов разработанной компьютерной программы
Fig. 5. Output window of the developed computer program

Её анализ показывает, что в тех случаях, когда местоположение животных соответствует 0 классу ($ID=118$) и 1 классу ($ID=429$), выводится рекомендация не использовать мультикоптер для корректировки их местоположения. В двух других случаях, когда местоположение животных соответствует 2 классу ($ID=612$) и 1 классу ($ID=235$), выводится рекомендация использовать мультикоптер. Эти рекомендации, а также рекомендации, выданные программой, в результате проверок в других многочисленных случаях, показали корректность работы предлагаемого алгоритма, что подтверждает целесообразность его использования на практике.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предложена оригинальная классификация местоположения выпасаемых животных, учитывающая их удаленность от границы пастбища. Соответствие местоположения контролируемых животных конкретным классам определяется на основе данных геопозиционирования, передаваемых с помощью IoT-сети. Разработан алгоритм поддержки принятия решений об использовании мультикоптера для корректировки местоположения выпасаемых животных. Его новизна заключается в учете критериев отнесения местоположения животных к одному из четырех классов. Проведена проверка работоспособности алгоритма на основе использования компьютерной программы, реализующей логику его работы. В результате подтвердилась корректность функционирования предлагаемого алгоритма, что позволяет рекомендовать его использование на практике.

В ходе дальнейших исследований планируется разработать систему корректировки местоположения выпасаемых животных на базе БПЛА и Интернета вещей, функционирующую с использованием предложенного алгоритма.

Список литературы

1. Alanezi M.A., Shahriar M.S., Hasan M.B., Ahmed S., Sha'aban Y.A., Bouchekara H.R.E.H. Livestock Management With Unmanned Aerial Vehicles: A Review // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 45001–45028.
2. Джамил К.Дж.К., Лихошерстов Р.В., Польщиков К.А. Модель передачи видеопотоков в летающей беспроводной самоорганизующейся сети // Экономика. Информатика. – 2022. – Т. 49. – № 2. – С. 403–415.
3. Polshchikov K., Shabeeb A.H.T., Lazarev S., Kiselev V. Justification for the decision on loading channels of the network of geoeological monitoring of resources of the agroindustrial complex // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2021. – Vol. 9, No. 3. – P. 781–787.
4. Adar S., Sternberg M., Paz-Kagan T., Henkin Z., Dovrat G., Zaady E., Argaman E. Estimation of aboveground biomass production using an unmanned aerial vehicle (UAV) and VENμS satellite imagery in Mediterranean and semiarid rangelands // Remote Sensing Applications: Society and Environment. – 2022. – Vol. 26. – P. 100753.
5. Chen T., Zheng H., Chen J., Zhang Z., Huang X. Novel intelligent grazing strategy based on remote sensing, herd perception and UAVs monitoring // Computers and Electronics in Agriculture. – 2024. – Vol. 219. – P. 108807.
6. Константинов И.С., Пилипенко О.В., Польщиков К.А., Иващук О.Д. К вопросу обеспечения связи в процессе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах строительства // Строительство и реконструкция. – 2016. – № 1 (63). – С. 40-46.
7. Konstantinov I.S., Polshchikov K.O., Lazarev S.A. The Algorithm for Neuro-Fuzzy Controlling the Intensity of Retransmission in a Mobile Ad-Hoc Network // International Journal of Applied Mathematics and Statistics. – 2017. – Vol. 56, Issue No. 2. – PP. 85–90.
8. Farooq M.S., Sohail O.O., Abid A., Rasheed S. A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Livestock Environment. // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 9483–9505.
9. Ясир М.Д.Я., Польщиков К.А., Федоров В.И. Модель доставки сообщения в сенсорной сети с низким энергопотреблением // Экономика. Информатика. – 2023. – Т. 50, № 2. – С. 439–447.
10. Casas R., Hermosa A., Marco Á., Blanco T., Zarazaga-Soria F.J. Real-Time Extensive Livestock Monitoring Using LPWAN Smart Wearable and Infrastructure // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11(3). – P. 1240.
11. Yaser M.J., Polshchikov K.A., Polshchikov I.K. Algorithm for ensuring the minimum power consumption of the end node in the LoRaWAN network // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2023. – Vol. 11, No. 4. – P. 168–74.

12. Nyamuryekung'e S. Transforming ranching: Precision livestock management in the Internet of Things era // *Rangelands*. – 2024. – Vol. 46(1). – P. 13–22.
13. Rvachova N., Sokol G., Polschikov K., Davies J. Selecting the intersegment interval for TCP in telecomms networks using fuzzy inference system // *2015 Internet Technologies and Applications, ITA 2015 – Proceedings of the 6th International Conference*. – Wrexham, 2015. – P. 256-260.
14. Soares V.H.A., Ponti M.A., Gonçalves R.A., Campello R.J.G.B. Cattle counting in the wild with geolocated aerial images in large pasture areas // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2021. – Vol. 189. – P. 106354.
15. Mahdi T.N., Jameel J.Q., Polshchikov K.A., Lazarev S.A., Polshchikov I.K., Kiselev V.E. Clusters partition algorithm for a self-organizing map for detecting resource-intensive database inquiries in a geo-ecological monitoring system // *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*. – 2021. – Vol. 9, No. 4. p. 1138-1145.
16. Aquilani C., Confessore A. Review: precision livestock farming technologies in pasture-based livestock systems // *Animal*. – 2022. – Vol. 16(1). – P. 100429.
17. Tzanidakis C., Tzamaloukas O., Simitzis P., Panagakis P. Precision Livestock Farming Applications (PLF) for Grazing Animals // *Agriculture*. – 2023. – Vol. 13(2). – P. 288.
18. Kumar V., Sharma K.V., Kedam N., Patel A., Kate T.R., Rathnayake U. A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies // *Smart Agricultural Technology*. – 2024. – Vol. 8. – P. 100487.
19. Herlin A., Brunberg E., Hultgren J., Högberg N., Rydberg A., Skarin A. Animal Welfare Implications of Digital Tools for Monitoring and Management of Cattle and Sheep on Pasture // *Animals*. – 2021. – Vol. 11(3). – P. 829.
20. Schulthess L., Longchamp F., Vogt C., Magno M. A Lora-Based and Maintenance-Free Cattle Monitoring System for Alpine Pastures and Remote Locations // *ENSsys '23: Proceedings of the 11th International Workshop on Energy Harvesting & Energy-Neutral Sensing Systems*. – Istanbul, 2023. – P. 44–50.
21. Ojo M.O., Viola I., Baratta M., Giordano S. Practical Experiences of a Smart Livestock Location Monitoring System Leveraging GNSS, LoRaWAN and Cloud Services // *Sensors*. – 2022. – Vol. 22(1). – P. 273.
22. Confessore A., Aquilani C., Nannucci L., Fabbri M.C., Accorsi P.A., Dibari C., Argenti G., Pugliese C. Application of Virtual Fencing for the management of Limousin cows at pasture // *Livestock Science*. – 2022. – Vol. 263. – P. 105037.
23. Verdon M., Langworthy A., Rawnsley R. Virtual fencing technology to intensively graze lactating dairy cattle. II: Effects on cow welfare and behavior // *Journal of Dairy Science*. – 2021. – Vol. 104 (6). – P. 7084–7094.
24. Verdon M., Hunt I., Rawnsley R. The effectiveness of a virtual fencing technology to allocate pasture and herd cows to the milking shed // *Journal of Dairy Science*. – 2024. – Vol. 107(8). – P. 6161–6177.
25. Schillings J., Holohan C., Lively F., Arnott G., Russell T. The potential of virtual fencing technology to facilitate sustainable livestock grazing management // *Animal*. – 2024. – Vol. 18(8). – P. 101231.
26. Li X., Huang H., Savkin A.V., Zhang J. Robotic Herding of Farm Animals Using a Network of Barking Aerial Drones // *Drones*. – 2022. – Vol. 6(2). – P. 29.
27. McDonnell S., Torcivia C. Preliminary Proof of the Concept of Wild (Feral) Horses Following Light Aircraft into a Trap // *Animals*. – 2020. – Vol. 10(1). – P. 80.
28. Li, J., Ling, M., Fu, B. et al. UAV based smart grazing: a prototype of space-air-ground integrated grazing IoT networks in Qinghai-Tibet plateau // *Discover Internet Things*. – 2025. – Vol. 5. – P. 17.
29. Anzai H., Kumaishi M. Effects of continuous drone herding on behavioral response and spatial distribution of grazing cattle // *Applied Animal Behaviour Science*. – 2023. – Vol. 268. – P. 106089.
30. Cao Y., Chen T., Zhang Z., Chen J. An Intelligent Grazing Development Strategy for Unmanned Animal Husbandry in China // *Drones*. – 2023. – Vol. 7(9). – P. 542.
31. Kar P., Chowdhury S. IoT and Drone-Based Field Monitoring and Surveillance System // *Artificial Intelligence Techniques in Smart Agriculture*. – 2024. – P. 253–266.
32. Khan S., Mazhar T., Shahzad T. et al. Future of sustainable farming: exploring opportunities and overcoming barriers in drone-IoT integration // *Discover Sustainability*. – 2024. – Vol. 5. – P. 470.

References

1. Alanezi M.A., Shahriar M.S., Hasan M.B., Ahmed S., Sha'aban Y.A., Boucekara H.R.E.H. Livestock Management With Unmanned Aerial Vehicles: A Review // *IEEE Access*. – 2022. – Vol. 10. – P. 45001–45028.
2. Jameel K.J.Q., Likhosherstov R.V., Polshchikov K.A. Model of Video Streams Transmission in a Flying Ad Hoc Network // *Economics. Information technologies*. – 2022. – № 49(2). – P. 403–415.

3. Polshchikov K., Shabeeb A. H. T., Lazarev S., Kiselev V. Justification for the decision on loading channels of the network of geoeological monitoring of resources of the agroindustrial complex // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2021. – Vol. 9, No. 3. – P. 781–787.
4. Adar S., Sternberg M., Paz-Kagan T., Henkin Z., Dovrat G., Zaady E., Argaman E. Estimation of aboveground biomass production using an unmanned aerial vehicle (UAV) and VENμS satellite imagery in Mediterranean and semiarid rangelands // Remote Sensing Applications: Society and Environment. – 2022. – Vol. 26. – P. 100753.
5. Chen T., Zheng H., Chen J., Zhang Z., Huang X. Novel intelligent grazing strategy based on remote sensing, herd perception and UAVs monitoring // Computers and Electronics in Agriculture. – 2024. – Vol. 219. – P. 108807.
6. Konstantinov I.S., Pilipenko O. V., Polshchikov K. A., Ivashchuk O. D. The issue of communication in the process of prevention and liquidation of emergency situations at construction sites // Building and reconstruction. – 2016. – No. 1 (63). – P. 40–46.
7. Konstantinov I.S., Polshchikov K.O., Lazarev S.A. The Algorithm for Neuro-Fuzzy Controlling the Intensity of Retransmission in a Mobile Ad-Hoc Network // International Journal of Applied Mathematics and Statistics. – 2017. – Vol. 56, Issue No. 2. – PP. 85–90.
8. Farooq M.S., Sohail O.O., Abid A., Rasheed S. A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Livestock Environment. // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 9483–9505.
9. Yaser M.J.Y., Polshchikov K.A., Fedorov V.I. Message Delivery Model in a LowPower Sensor Network // Economics. Information technologies. – 2023. – Vol. 50(2). P. 439–447.
10. Casas R., Hermosa A., Marco Á., Blanco T., Zarazaga-Soria F.J. Real-Time Extensive Livestock Monitoring Using LPWAN Smart Wearable and Infrastructure // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11(3). – P. 1240.
11. Yaser M.J., Polshchikov K.A., Polshchikov I.K. Algorithm for ensuring the minimum power consumption of the end node in the LoRaWAN network // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2023. – Vol. 11, No. 4. – P. 168–74.
12. Nyamuryekung'e S. Transforming ranching: Precision livestock management in the Internet of Things era // Rangelands. – 2024. – Vol. 46(1). – P. 13–22.
13. Rvachova N., Sokol G., Polshchikov K., Davies J. Selecting the intersegment interval for TCP in telecomms networks using fuzzy inference system // 2015 Internet Technologies and Applications, ITA 2015 – Proceedings of the 6th International Conference. – Wrexham, 2015. – P. 256-260.
14. Soares V.H.A., Ponti M.A., Gonçalves R.A., Campello R.J.G.B. Cattle counting in the wild with geolocated aerial images in large pasture areas // Computers and Electronics in Agriculture. – 2021. – Vol. 189. – P. 106354.
15. Mahdi T.N., Jameel J.Q., Polshchikov K.A., Lazarev S.A., Polshchikov I.K., Kiselev V.E. Clusters partition algorithm for a self-organizing map for detecting resource-intensive database inquiries in a geo-ecological monitoring system // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2021. – Vol. 9, No. 4. p. 1138-1145.
16. Aquilani C., Confessore A. Review: precision livestock farming technologies in pasture-based livestock systems // Animal. – 2022. – Vol. 16(1). – P. 100429.
17. Tzanidakis C., Tzamaloukas O., Simitzis P., Panagakis P. Precision Livestock Farming Applications (PLF) for Grazing Animals // Agriculture. – 2023. – Vol. 13(2). – P. 288.
18. Kumar V., Sharma K.V., Kedam N., Patel A., Kate T.R., Rathnayake U. A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies // Smart Agricultural Technology. – 2024. – Vol. 8. – P. 100487.
19. Herlin A., Brunberg E., Hultgren J., Högberg N., Rydberg A., Skarin A. Animal Welfare Implications of Digital Tools for Monitoring and Management of Cattle and Sheep on Pasture // Animals. – 2021. – Vol. 11(3). – P. 829.
20. Schulthess L., Longchamp F., Vogt C., Magno M. A Lora-Based and Maintenance-Free Cattle Monitoring System for Alpine Pastures and Remote Locations // ENSsys '23: Proceedings of the 11th International Workshop on Energy Harvesting & Energy-Neutral Sensing Systems. – Istanbul, 2023. – P. 44–50.
21. Ojo M.O., Viola I., Baratta M., Giordano S. Practical Experiences of a Smart Livestock Location Monitoring System Leveraging GNSS, LoRaWAN and Cloud Services // Sensors. – 2022. – Vol. 22(1). – P. 273.
22. Confessore A., Aquilani C., Nannucci L., Fabbri M.C., Accorsi P.A., Dibari C., Argenti G., Pugliese C. Application of Virtual Fencing for the management of Limousin cows at pasture // Livestock Science. – 2022. – Vol. 263. – P. 105037.
23. Verdon M., Langworthy A., Rawnsley R. Virtual fencing technology to intensively graze lactating dairy cattle. II: Effects on cow welfare and behavior // Journal of Dairy Science. – 2021. – Vol. 104 (6). – P. 7084–7094.

24. Verdon M., Hunt I., Rawnsley R. The effectiveness of a virtual fencing technology to allocate pasture and herd cows to the milking shed // *Journal of Dairy Science*. – 2024. – Vol. 107(8). – P. 6161–6177.
25. Schillings J., Holohan C., Lively F., Arnott G., Russell T. The potential of virtual fencing technology to facilitate sustainable livestock grazing management // *Animal*. – 2024. – Vol. 18(8). – P. 101231.
26. Li X., Huang H., Savkin A.V., Zhang J. Robotic Herding of Farm Animals Using a Network of Barking Aerial Drones // *Drones*. – 2022. – Vol. 6(2). – P. 29.
27. McDonnell S., Torcivia C. Preliminary Proof of the Concept of Wild (Feral) Horses Following Light Aircraft into a Trap // *Animals*. – 2020. – Vol. 10(1). – P. 80.
28. Li, J., Ling, M., Fu, B. et al. UAV based smart grazing: a prototype of space-air-ground integrated grazing IoT networks in Qinghai-Tibet plateau // *Discov Internet Things*. – 2025. – Vol. 5. – P. 17.
29. Anzai H., Kumaishi M. Effects of continuous drone herding on behavioral response and spatial distribution of grazing cattle // *Applied Animal Behaviour Science*. – 2023. – Vol. 268. – P. 106089.
30. Cao Y., Chen T., Zhang Z., Chen J. An Intelligent Grazing Development Strategy for Unmanned Animal Husbandry in China // *Drones*. – 2023. – Vol. 7(9). – P. 542.
31. Kar P., Chowdhury S. IoT and Drone-Based Field Monitoring and Surveillance System // *Artificial Intelligence Techniques in Smart Agriculture*. – 2024. – P. 253–266.
32. Khan S., Mazhar T., Shahzad T. et al. Future of sustainable farming: exploring opportunities and overcoming barriers in drone-IoT integration // *Discover Sustainability*. – 2024. – Vol. 5. – P. 470.

Карви Джалал Каис Джамил, магистр наук, преподаватель Университета Мустансирия, г. Багдад, Ирак
Польщиков Константин Александрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры информационных и робототехнических систем Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

Karwi Jalal Qais Jameel, MSc, Assistant Lecturer of the Mustansiriyah University, Baghdad, Iraq
Konstantin A. Polshchikov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Information and Robotic Systems of the Belgorod State University, Belgorod, Russia