

Научная статья

УДК 004.89+623.746.4-519:004

ББК 32.813.54+39.52-05

Д 58

DOI: 10.53598/2410-3225-2024-2-341-78-85

**Использование оперативного метода планирования задач  
для роя дронов при поддержке языковой модели**  
(Рецензирована)

**Виталий Анатольевич Довгаль**

Майкопский государственный технологический университет,  
Адыгейский государственный университет, Майкоп, Россия, [urmia@mail.ru](mailto:urmia@mail.ru)

**Аннотация.** Быстрое развитие технологий беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) привело к появлению идеи объединения дронов в единую систему, которая тем не менее не избавлена от проблем с планированием задач. Стая дронов по-прежнему сталкивается с такими проблемами, как сложность удаленного управления и удобство взаимодействия человека и машины. С другой стороны, в настоящее время активно развиваются большие языковые модели как способ общения вычислительных устройств на естественном языке общения. В настоящем исследовании предлагается соединить управление несколькими беспилотными летательными аппаратами с семантическим пониманием контекста фраз большими языковыми моделями. Предлагаемый в данной статье метод оперативного планирования задач для роя дронов на основании оперативной информации, получаемой сенсорами, даст возможность беспилотникам точно понимать задачи пользователей на естественном языке, позволяя упростить, повысить эффективность и безопасность управления несколькими дронами, тем самым повышая летные характеристики и диапазон применения стаи дронов.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, рой дронов, большая языковая модель, оперативное управление, сетевые системы управления, глубокое обучение

**Для цитирования:** Довгаль В. А. Использование оперативного метода планирования задач для роя дронов при поддержке языковой модели // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер.: Естественно-математические и технические науки. 2024. Вып. 2 (341). С. 78–85. DOI: 10.53598/2410-3225-2024-2-341-78-85

Работа выполнена при поддержке гранта ФГБОУ ВО МГТУ (проект № НПП1-2024 «Единое интеллектуальное информационное пространство региона как фактор его устойчивого и эффективного развития»).

Original Research Paper

**Using an operational task scheduling method for a drone swarm  
with language model support**

**Vitaly A. Dovgal**

Maikop State Technological University, Adyghe State University,  
Maykop, Russia, [urmia@mail.ru](mailto:urmia@mail.ru)

**Abstract.** The rapid development of unmanned aerial vehicle (UAV) technologies has led to the idea of combining drones into a single system, which nevertheless is not free from problems with task planning. The drone flock still faces challenges such as the complexity of remote control and the convenience of human-machine interaction. On the other hand, large language models are currently actively developing as a way for computing devices to communicate in a natural language of communication. In this study, it is proposed to combine the control of several unmanned aerial vehicles with the semantic understanding of the context of phrases by large language models. The method proposed in this article for operational task planning for a swarm of drones, based on the operational infor-

mation received by sensors, will enable drones to accurately understand user tasks in natural language, allowing them to simplify, improve the efficiency and safety of controlling several drones, thereby increasing the flight characteristics and range of application of a flock of drones.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, swarm of drones, large language model, operational management, network management systems, deep learning

**For citation:** Dovgal V. A. Using an operational task scheduling method for a drone swarm with language model support // The Bulletin of the Adyghe State University. Ser.: Natural-Mathematical and Technical Sciences. 2024. Iss. 2 (341). P. 78–85. DOI: 10.53598/2410-3225-2024-2-341-78-85

The work was supported by the grant of FGBOU VO MSTU (project No. NP11-2024 “Common intellectual information space of the region as a factor of its sustainable and effective development”).

## Введение

В настоящее время в различных областях все более распространенной идеей становится использование беспилотных летательных аппаратов для выполнения определенного задания (например, поисковой миссии) не поодиночке, а в составе организованной единой группы, которую часто называют роем (или стаей) [1]. Каждый агент в сетевой системе управления роя, выполняя часть общей вычислительной задачи, интегрируется в сетевую и вычислительную систему единой системы, образуя мультиагентную систему, которая может решать сложные задачи поставленной миссии на основе координации действий между беспилотниками [2].

Однако традиционные методы планирования задач для роя дронов часто основаны на заранее разработанных алгоритмах, которые требуют коррекции при динамично изменяющейся обстановке. Таким образом, возникает потребность в таких методах планирования полета, которые могут адекватно отразить сложность и изменение окружающей среды. Важнейшей из задач, которые нуждаются в планировании при выполнении полета роем дронов, является координация и синхронизация нескольких БПЛА для достижения общей цели [3]. Каждый беспилотник имеет свои собственные возможности, ограничения и методы обнаружения, которые необходимо учитывать при разработке стратегий управления. Кроме того, взаимодействие между беспилотниками и окружающей средой, а также между самими беспилотниками еще больше усложняют проблему управления.

Планирование траектории полета роя дронов и распределение вычислительных задач между дронами является нетривиальной задачей с учетом различных ограничений, таких как предотвращение столкновений и потребление энергии аккумуляторов [4, 5]. Наиболее часто в таких случаях используются централизованное или децентрализованное управление, алгоритмы которых могут плохо масштабироваться при увеличении роя дронов. Существует большое количество исследований алгоритмов децентрализованного управления, использующих роевой интеллект и методы машинного обучения [6–8]. Представляется необходимым подключать и другие возможности улучшения эффективности, адаптивности и надежности.

Целью данной статьи является анализ возможности применения больших языковых моделей для планирования совместного полета, выполняемого группой дронов, а также описание общей идеи использования языка естественного общения как альтернативы применения вычислительных алгоритмов.

## 1. Применение больших языковых моделей для управления

Еще одной прорывной идеей, произошедшей в последнее время, стали успехи в области обработки данных, содержащихся в естественном языке общения – значительное улучшение понимания и генерации текста с помощью больших языковых моделей

(*large language model*, LLM), которые стали применяться при планировании задач для различных исполнительных механизмов (роботов). Основной задачей таких исследований стало обеспечение понимания роботизированными устройствами типа роботизированных рук абстрактных задач, которые ставят им пользователи на естественном языке [9–11], то есть в основном рассматривались задачи захвата предметов, и задачам планирования полета стаи дронов при этом внимания не уделялось. Кроме того, использовалось специфическое аппаратное обеспечение и такие же специфические наборы данных. В рассматриваемой задаче выполнения полета требуется сбор новых данных и новое обучение модели.

Применение больших языковых моделей как метод оперативного управления позволит на основе обработки естественного языка сформировать запрос, похожий на человеческий. Предварительно обученные на огромных объемах текстовых данных модели, накапливая большой объем семантических знаний, смогут понимать контекст запроса пользователя и, интерпретируя, генерировать соответствующие команды управления для роя беспилотников. Таким образом, применяя большие языковые модели для планирования полета роя дронов, можно не только упростить процесс управления стаей, но и обеспечить большую гибкость и адаптивность в динамичных средах.

## 2. Беспилотные летательные аппараты с LLM

Управление роем дронов на основе традиционных методов коллективного интеллекта или методов, основанных на обучении с подкреплением [12], требуют значительных данных для обучения и вычислительных ресурсов. Для обеспечения оперативного управления небольшими беспилотниками перспективнее использовать обучение без учителя, при котором обучающий набор состоит только из знакомых категорий, а тестовый набор содержит как знакомые категории, так и незнакомые. В этом случае задача модели – научиться выделять незнакомые категории без предварительного знакомства с ними в обучающих данных. Использование LLM для решения различных задач, связанных с беспилотниками, как раз и является методом обучения без учителя, который позволяет более эффективно управлять роем дронов.

Как показано на рисунке 1, процесс использования данных при оперативном управлении несколькими беспилотниками на базе LLM можно разделить на следующие четыре части: создание библиотеки функций движения дрона, разработка системных и пользовательских промптов (prompts, запросов на генерацию кода), взаимодействие человека и LLM, выполнение кода беспилотного летательного аппарата, сгенерированного LLM.

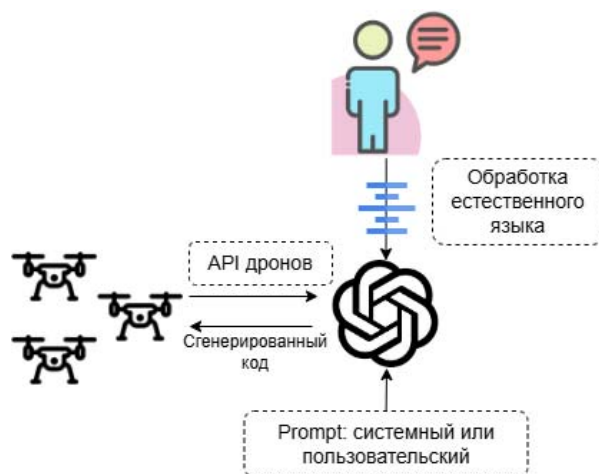


Рис. 1. Структура оперативного управления роем дронов на базе LLM

Fig. 1. LLM-based drone swarm operational management structure

## 2.1. Библиотека функций движения дронами

Библиотека функций управления дронами – это набор предопределенных функций или алгоритмов, которые облегчают управление и перемещение дронов.

Цель библиотеки функций управления дронами – обеспечить программный интерфейс доступа к данным (*application programming interface*, API), предоставив набор повторно используемых модульных компонентов. На основе функций для выполнения базовых маневров в полете (взлет, посадка, разворот и управление высотой) разработчики могут использовать API для создания более сложных систем управления дронами, с более продвинутыми возможностями – например, планирование траектории, групповой полет или динамический обход препятствий.

Функции в библиотеке функций управления дроном обычно реализуются с использованием математических моделей, алгоритмов управления и методов объединения данных с датчиков и учитывают различные факторы, такие как динамика дрона, условия окружающей среды, входные данные датчиков и команды пользователя, для создания необходимого движения дрона.

Используя библиотеку функций управления дроном, разработчики могут сэкономить время и усилия при внедрении низкоуровневых функций управления, поскольку они могут использовать уже существующие и протестированные функции, ограничивая LLM использовать только функции из API, чтобы сгенерированный код мог быть распознан и выполнен дронами.

## 2.2. Проектирование запросов на генерацию кода

Считается, что написание хорошо структурированных запросов (промтлов) является важной частью обеспечения генерации точных и высококачественных ответов языковой моделью. В контексте системы управления роем дронов, управляемого с помощью запросов на генерацию кода, существует два типа подсказок:

а) системные подсказки – предопределенные промпты (инструкции), предназначенные для определения функций большой языковой модели, способные изменить роль и функции LLM, сделав ее экспертом в определенной области (в литературе по написанию промптов рекомендуют включать в системные запросы такие ограничения, как «Вы ассистент, помогающий мне выполнять полет роя дронов», «Используйте простые функции Python из таких библиотек, как *math* и *numpy*» или «Вам разрешено использовать только набор определенных мною функций» [13]. Используя такие дополнения в инструкциях, языковая модель, соблюдая их, скорее всего достигнет указанные пользователем цели или задачи;

б) пользовательские промпты – это запросы, созданные пользователем или оператором роя дронов, которые являются командами на естественном языке, предоставляемых пользователем системе. Кроме того, в таких промптах обычно представлены функции, которые должен выполнить дрон, затем могут следовать краткие пояснения. Например: типичный запрос пользователя для дрона может содержать такие инструкции, как «Осуществить взлет дрона № 1», «Осмотреть точку с координатами такими-то» или «Одновременно запустить беспилотники № 1 и № 2». Система управления интерпретирует промпты пользователя и генерирует соответствующие системные инструкции для управления беспилотными летательными аппаратами.

Взаимодействие между системными и пользовательскими промптами составляет основу подхода к управлению на основе запросов на генерацию кода: системные – обеспечивают общее руководство и управление роем дронов, а пользовательские – обеспечивают гибкое и интуитивно понятное взаимодействие между пилотом и роем. Система управления анализирует и интерпретирует запросы пользователя, ге-

нерируя системные промпты, которые преобразуют намерения пользователя в практические инструкции для беспилотников.

Интеграция в системе оперативного управления системных и пользовательских запросов обеспечивает эффективное управление роем дронов, сочетая преимущества автоматизированных алгоритмов управления с гибкостью и адаптируемостью пользовательского ввода и обеспечивая динамичную и быстро реагирующую работу беспилотников в различных сценариях.

### **2.3. Взаимодействие человека и LLM**

Традиционное управление роем дронов осуществляется наземными станциями управления, на которых находятся пилоты-операторы, разрабатывающие полетное задание и добавляющие путевые точки на маршруте [14]. Недостатками такой схемы являются большие временные затраты, а также низкая скорость разработки сценариев, в которых требуется частое перераспределение задач между отдельными роями дронов.

Успехи в разработке больших языковых моделей позволили существенно улучшить эффективность взаимодействия между человеком и LLM, что означает практическую возможность результативного применения последних для контроля и управления задачами беспилотников на основе интуитивно понятного обмена инструкциями на естественном языке общения и понимания контекста общения, а также дальнейшей генерации кода, необходимого для выполнения полета.

Операторы могут предоставлять модели высокоуровневые промпты или команды для планирования и координации задач беспилотных летательных аппаратов в процессе полета в режиме реального времени в изменяющейся среде. Кроме того, операторы с помощью естественного языка могут изменить или скорректировать текущие задачи роя дронов, предоставить новые запросы языковой модели. Другими преимуществами интерактивного описания задач и управления формированием дрона являются:

- а) предоставление помощи языковой моделью в принятии обоснованных решений во время выполнения миссии;
- б) оценка потенциальных рисков, выполняемая языковой моделью в целях обеспечения безопасности и снижения уровня потенциальных рисков во время полета беспилотных летательных аппаратов;
- в) оказание помощи при анализе данных, собранных беспилотниками, и создании отчетов.

Таким образом, взаимодействие человека и большой языковой модели повышает возможности контроля, координации и принятия решений при работе с роем дронов и каждым беспилотником в отдельности, что обеспечивает более эффективное и интеллектуальное взаимодействие с пилотами и повышает эффективность выполнения миссии, безопасности и общей операционной эффективности.

### **2.4. Генерация кода и выполнение его беспилотником**

В представленной на рисунке 1 схеме предполагается использование возможностей большой языковой модели для генерации кода для обеспечения задач беспилотников – для этого LLM обрабатывает предоставленные запросы и генерирует код на основе поставленной миссии. Сгенерированный код может включать в себя команды управления полетом, обработку данных, полученных датчиками, захват изображений или видео, навигационные инструкции или любые другие конкретные действия, необходимые для выполнения задач.

При выполнении кода на дронах важно установить каналы связи между оператором, LLM и отдельными членами стаи, обеспечивая обратную связь в режиме реального времени. Дроны могут отправлять телеметрические данные, показания датчиков

или изображения обратно оператору или LLM, что позволяет осуществлять мониторинг и принимать решения на основе текущего состояния дрона.

При выполнении кода, сгенерированного LLM, крайне важно внедрить механизмы обработки ошибок и протоколы безопасности, включающие в себя проверку на наличие потенциальных ошибок или исключений в коде, внедрение механизмов защиты от сбоев и обеспечение соблюдения правил техники безопасности. В процессе выполнения сгенерированного кода оператор или языковая модель должны следить за поведением дронов и обеспечивать правильное выполнение ими требуемых задач за счет настройки параметров, предоставления дополнительных инструкций или изменения кода (при необходимости).

После завершения выполнения кода оператор или LLM могут проанализировать собранные данные, изображения или другие данные, полученные с беспилотников, оценивая успешность выполнения задач миссии, выявляя любые проблемы или аномалии, а также генерируя рекомендации по будущим улучшениям системы.

### **Заключение**

В данном исследовании рассмотрена концепция использования больших языковых моделей для удобного и интуитивно понятного управления несколькими беспилотными летательными аппаратами в рое на основе естественного языка общения, который позволяет устранить необходимость сложного ручного управления. Потенциал больших языковых моделей позволяет операторам взаимодействовать с беспилотными летательными аппаратами более естественным и эффективным образом для улучшения взаимодействия человека и дрона, облегчения развертывания роя дронов для реализации поставленной миссии.

В целом, использование предлагаемого метода оперативного управления стаей дронов потенциально способно произвести революцию в способах управления роем беспилотных летательных аппаратов.

Для обеспечения безопасного и точного выполнения намеченных задач миссии, успешной эксплуатации дронов при выполнении сгенерированного кода крайне важно систематически следовать передовым практикам, владеть ситуацией, соблюдать установленные правила и подходить к реализации миссии тщательным образом.

### **Примечание**

1. Довгаль В. А. Интеграция сетей и вычислений для построения системы управления роем дронов как сетевой системы управления // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. : Естественно-математические и технические науки. 2022. Вып. 1 (296). С. 62–76. DOI: 10.53598/2410-3225-2022-1-296-62-76

2. A survey of using swarm intelligence algorithms in IoT / W. Sun, M. Tang, L. Zhang, Z. Huo // Sensors. 2020. Vol. 20. P. 1420.

3. Dovgal V. A. Making decisions about the placement of unmanned aerial vehicles based on the implementation of an artificial immune system in relation to information processing // Proceedings – 2021 : International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2021, Sochi, 17–21 мая 2021 г. Sochi, 2021. P. 828–833. DOI: 10.1109/ICIEAM51226.2021.9446353

4. Dovgal V. A. Swarm Learning Based on the Artificially Intelligent Edge // CEUR Workshop Proceedings, Yalta, Crimea, 20–22 сентября 2021 года. Yalta, 2021. P. 260–265.

5. Robust multi-drone multi-target tracking to resolve target occlusion: A benchmark / Z. Liu, Y. Shang, T. Li, G. Chen // IEEE Transactions on Multimedia. 2023. P. 1462–1476.

6. Guerber C., Royer M., Larriue N. Machine learning and software defined network to secure communications in a swarm of drones // Journal of information security and applications. 2021. Vol. 61. P. 102940.

7. Learning vision-based flight in drone swarms by imitation / F. Schilling, J. Lecoer,

- F. Schiano, D. Floreano // IEEE Robotics and Automation Letters. 2019. Vol. 4, No. 4. P. 4523–4530.
8. Machine learning applications in internetof-drones: systematic review, recent deployments, and open issues / A. Heidari, N. Jafari Navimipour, M. Unal, G. Zhang // ACM Computing Surveys. 2023. Vol. 55, No. 12. P. 1–45.
9. Pramanick P., Barua H.B., Sarkar C. Decomplex: Task planning from complex natural instructions by a collocating robot // 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). 2020. P. 6894–690.
10. Venkatesh S. G., Upadrashta R., Amrutur B. Translating natural language instructions to computer programs for robot manipulation // 2021 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). 2021. P. 1919–1926.
11. A multimodal learning-from-observation towards all at-once robot teaching using task cohesion / I. Yanaokura, N. Wake, K. Sasabuchi, R. Arakawa // 2022 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII). 2022. P. 367–374.
12. Боровик В. С., Шидловский С. В. Обучение с подкреплением в задачах управления технологическими процессами // Телекоммуникации. 2020. № 11. С. 36–40.
13. Келен О., Блете М.-А. Разработка приложений на базе GPT-4 и ChatGPT. Астана : Спринт Бук, 2024. 192 с.
14. Довгаль В. А., Довгаль Д. В. Анализ систем коммуникационного взаимодействия дронов, выполняющих поисковую миссию в составе группы // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер.: Естественно-математические и технические науки. 2020. Вып. 4 (271). С. 87–94.

## References

1. Dovgal V. A. Integration of networks and computing to build a drone swarm management system as a network management system // The Bulletin of the Adyghe State University. Ser.: Natural-Mathematical and Technical Sciences. 2022. Iss. 1 (296). P. 62–76. DOI: 10.53598/2410-3225-2022-1-296-62-76
2. A survey of using swarm intelligence algorithms in IoT / W. Sun, M. Tang, L. Zhang, Z. Huo // Sensors. 2020. Vol. 20. P. 1420.
3. Dovgal V. A. Making decisions about the placement of unmanned aerial vehicles based on the implementation of an artificial immune system in relation to information processing // Proceedings – 2021 : International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2021, Sochi, May 17–21, 2021. Sochi, 2021. P. 828–833. DOI: 10.1109/ICIEAM51226.2021.9446353
4. Dovgal V. A. Swarm Learning Based on the Artificially Intelligent Edge // CEUR Workshop Proceedings, Yalta, Crimea, September 20–22, 2021. Yalta, 2021. P. 260–265.
5. Robust multi-drone multi-target tracking to resolve target occlusion: A benchmark / Z. Liu, Y. Shang, T. Li, G. Chen // IEEE Transactions on Multimedia. 2023. P. 1462–1476.
6. Guerber C., Royer M., Larrieu N. Machine learning and software defined network to secure communications in a swarm of drones // Journal of Information Security and Applications. 2021. Vol. 61. P. 102940.
7. Learning vision-based flight in drone swarms by imitation / F. Schilling, J. Lecoer, F. Schiano, D. Floreano // IEEE Robotics and Automation Letters. 2019. Vol. 4, No. 4. P. 4523–4530.
8. Machine learning applications in internetof-drones: systematic review, recent deployments, and open issues / A. Heidari, N. Jafari Navimipour, M. Unal, G. Zhang // ACM Computing Surveys. 2023. Vol. 55, No. 12. P. 1–45.
9. Pramanick P., Barua H.B., Sarkar C. Decomplex: Task planning from complex natural instructions by a collocating robot // 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). 2020. P. 6894–690.
10. Venkatesh S. G., Upadrashta R., Amrutur B. Translating natural language instructions to computer programs for robot manipulation // 2021 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). 2021. P. 1919–1926.
11. A multimodal learning-from-observation towards all at-once robot teaching using task cohesion / I. Yanaokura, N. Wake, K. Sasabuchi, R. Arakawa // 2022 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII). 2022. P. 367–374.
12. Borovik V. S., Shidlovsky S. V. Reinforcement learning in process control tasks // Telecommunications. 2020. No. 11. P. 36–40.
13. Kelen O., Blete M.-A. Application development based on GPT-4 and ChatGPT. Astana : Sprint Book, 2024. 192 p.

14. Dovgal V. A., Dovgal D. V. Analysis of communication interaction systems for drones performing a search mission as part of a group // The Bulletin of the Adyghe State University. Ser. : Natural-Mathematical and Technical Sciences. 2020. Iss. 4 (271). P. 87–94.  
URL: <http://vestnik.adygnet.ru>

*Статья поступила в редакцию 13.05.2024; одобрена после рецензирования 23.05.2024; принята к публикации 24.05.2024.*

*The article was submitted 13.05.2024; approved after reviewing 23.05.2024; accepted for publication 24.05.2024.*

© В. А. Довгаль, 2024