

УДК 004.9

EDN [SPVOQL](https://doi.org/10.47813/rosnio-II.2023.8.190-197)



<https://www.doi.org/10.47813/rosnio-II.2023.8.190-197>

Анализ микропроцессорной производительности при роевом применении дронов-распылителей в точном земледелии

Д.И. Ковалев^{1,2,3}, В.А. Подоплелова^{1,4}, Т.П. Черкасова³

¹Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

²Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», Ташкент, Узбекистан

³Красноярский краевой Дом науки и техники РосСНИО, Красноярск, Россия

⁴Сочинский государственный университет, Сочи, Россия

*E-mail: podoplelovava@mail.ru

Аннотация. Эффективность роевого применения дронов-распылителей в точном сельском хозяйстве во многом зависит как от выбранных для этой цели моделей дронов и их характеристик, так и от организации управления их роем. В статье обоснована необходимость анализа микропроцессорной производительности роя дронов-распылителей в различных режимах их использования. Возможна организация общего управления роем дронов, а также индивидуальное управление в автономном режиме. В статье представлена методика анализа производительности применения дронов-распылителей в точном сельском хозяйстве. Приведен модельный пример анализа микропроцессорной производительности роя дронов, исходя из заданных системных параметров. Показано, что применение моделей микропроцессорной производительности роя дронов в точном земледелии позволяет получить информацию, необходимую для принятия решения о разработке или приобретении беспилотных летательных аппаратов того или иного типа, выбора систем распыления удобрений и пестицидов, о масштабировании и резервировании беспилотных аппаратов и элементов распылительной системы.

Ключевые слова: дрон, рой, точное земледелие, микропроцессор, производительность.

Analysis of microprocessor performance in the swarm application of spray drones in precision farming

D.I. Kovalev^{1,2,3}, V.A. Podoplelova^{1,4}, T.P. Cherkasova³

¹Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

²National Research University "Tashkent Institute of Engineers of Irrigation and Mechanization of Agriculture", Tashkent, Uzbekistan

³Krasnoyarsk Science and Technology City Hall, Krasnoyarsk, Russia

⁴Sochi State University, Sochi, Russia

*E-mail: podoplelovava@mail.ru

Abstract. The effectiveness of the swarm application of spray drones in precision agriculture largely depends both on the drone models and their characteristics chosen for this purpose, and on the organization of their swarm management. The article substantiates the need to analyze the microprocessor performance of a swarm of atomizer drones in various modes of their use. It is possible to organize a general control of a swarm of drones, as well as individual control in offline mode. The article presents a methodology for analyzing the performance of the use of spray drones in precision agriculture. A model example of the analysis of the microprocessor performance of a swarm of drones based on the specified system parameters is given. It is shown that the use of models of microprocessor performance of a swarm of drones in precision farming makes it possible to obtain the information necessary to make a decision on the development or purchase of unmanned aerial vehicles of one type or another, the choice of fertilizer and pesticide spraying systems, the scaling and redundancy of unmanned vehicles and elements of the spraying system.

Keywords: drone, swarm, precision farming, microprocessor, productivity.

1. Введение

В настоящее время одним из перспективных направлений в точном земледелии является использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), называемых также дронами [1-3]. Дроны обладают разной степенью автономности. Они могут управляться дистанционно или функционировать в полностью автоматическом режиме. Современные БПЛА существенно различаются по конструкции и назначению [4,5].

В работе [6] представлен материал по использованию беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве. Показано, что для различных направлений точного земледелия использование дронов решает совокупность задач, среди которых авторы выделяют: инвентаризацию сельхозугодий, создание электронных карт полей, оценку объема работ и контроля их выполнения, оперативный мониторинг состояния посевов, оценку всхожести сельскохозяйственных культур, охрану сельхозугодий, обработку посевов пестицидами для борьбы с вредными насекомыми и вредителями. Отмечено, что в ближайшее время беспилотная авиатехника, активно проникая во все сферы жизнедеятельности человека, в том числе и в сельское хозяйство, значительно увеличивают производительность труда на фоне снижения издержек производства [7].

Интерес для точного земледелия представляет модель роевой обработки полей, когда рой дронов с распылителями используется для внесения удобрений или обработки посевов пестицидами [8-11].

В работе [8] авторы отмечают, что такая система сталкивается с важной проблемой, заключающейся в расчете множества оптимальных траекторий для каждого дрона-распылителя. Решение этой проблемы позволило бы управлять многими дронами в автономном режиме. Это позволяет экономить заряд батареи между подзарядками и выполнять несколько задач одновременно. Данная проблема решалась авторами экспериментально. Ряд экспериментов по управлению БПЛА позволил сделать рекомендации по организации общего управления роем БПЛА, так как в отличие от индивидуального управления, в этом случае сокращается время полета. Это обеспечивает оптимизацию общего транспортно-технологического цикла [9], однако задачи производительности БПЛА в этой работе не исследовались.

В работе [10] рассмотрено моделирование и симуляция совместного планирования и восприятия распределенного роя БПЛА. Отмечается сложность проектирования и тестирования таких систем из-за неопределенности датчиков и

возникновения неопределенности в общении и восприятии при применении распределенного коллективного роя.

2. Материалы и методы

Анализ многих решений в этом направлении исследований [11-13] позволяет сделать вывод о том, что при организации транспортно-технологического взаимодействия роя БПЛА остаются нерешенными задачи анализа требуемой производительности распылительных БПЛА (на рисунке 1, например, представлен дрон-распылитель DJI Agras MG-1), стоимости затрачиваемых ресурсов, возможности расширения (масштабирования) роя и необходимости резервирования дублированием как БПЛА, так и элементов распылительной системы за счет использования большего числа БПЛА и элементов.

Отметим, что дроны-распылители DJI используются по всему миру, поскольку сельскохозяйственные предприятия применяют новейшие технологии для точного и эффективного распределения химических препаратов.

Представленный на рисунке 1 сельскохозяйственный октокоптер DJI Agras MG-1, предназначен для распыления любой жидкости в указанной точке. С помощью мобильного приложения, используя микропроцессорное управление дроном, имеется возможность размечать маршруты дрона и границы поля, подлежащего опылению.



Рисунок 1. Дрон-распылитель DJI Agras MG-1 (источник: <https://www.dji.com/ru>).

Отметим, что микропроцессор БПЛА требует для своей работы вычислительные ресурсы, так как операционная система должна выполнять несколько административных функций, например, планирование, управление ресурсами, диспетчеризацию, обнаружение и обработку ошибок, и контроль работы. Каждый микропроцессор расходует на такие функции часть своих вычислительных ресурсов, что уменьшает его производительность по целевому назначению.

Для роя БПЛА сверх указанных внутри процессорных накладных расходов имеются также межпроцессорные расходы на выполнение дополнительных административных функций в многопроцессорной системе роя, например планирование, управление ресурсами и т. п., а также на проведение многочисленных обновлений таблиц состояния в каждом процессоре, которые изменяются во время выполнения операций обработки поля. Следовательно, при введении в систему нового БПЛА каждый из уже имеющихся микропроцессоров должен будет терять дополнительные вычислительные ресурсы на разрешение конфликтов с микропроцессором нового БПЛА. Для определения оптимального числа БПЛА в рое необходимо знать, как зависит производительность, или пропускная способность этой системы, от числа бортовых и наземных микропроцессоров N .

3. Результаты

Приведем модельный пример анализа микропроцессорной производительности роя БПЛА, исходя из следующих модельных параметров [14]:

S — быстродействие микропроцессора, тыс. операций/с;

P — внутри процессорные накладные расходы, тыс. операций/с;

M — коэффициент межпроцессорных накладных расходов, тыс. операций/с;

T — число операций на обработку одного сообщения, тыс. операций на сообщение.

Для микропроцессорной производительности роя БПЛА $\Pi(N)$ можно использовать следующее выражение [15]:

$$\Pi(N) = \frac{N[S - P - M(N-1)]}{T}. \quad (1)$$

Из данного графика видно, что наилучшую микропроцессорную производительность можно получить для системы, включающей пять или шесть БПЛА. При дальнейшем росте числа БПЛА микропроцессорная производительность падает, так как замедление работы других бортовых микропроцессоров с каждым дополнительным

БПЛА превосходит вклад нового микропроцессора в увеличении общей производительности системы.

График $\Pi(N)$ для значений параметров ($S=1000$, $P=200$, $M=80$, $T=20$) показан на рисунке 2.

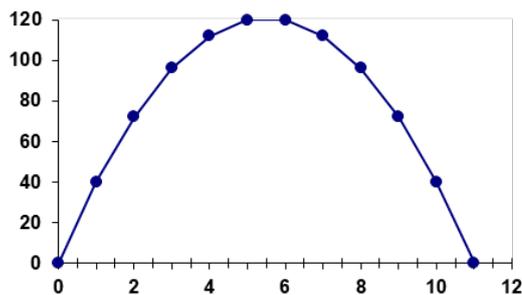


Рисунок 2. Зависимость микропроцессорной производительности $\Pi(N)$ от числа БПЛА.

Уравнение (1) описывает зависимость производительности системы от набора переменных, которые будем называть системными параметрами. Так как в уравнении не только N , но и параметры S , P , M и T являются системными параметрами, то $\Pi(N)$ в левой части уравнения можно обозначить как $\Pi(N, S, P, M, T)$.

Применения моделей микропроцессорной производительности роя БПЛА в точном земледелии позволяет получить информацию, необходимую для принятия решения о разработке или приобретении БПЛА того или иного типа, выбора систем распыления удобрений и пестицидов, о масштабировании и резервировании БПЛА и элементов распылительной системы. Для этого мы можем использовать, во-первых, информацию об оптимальной микропроцессорной производительности. В результате анализа моделей производительности по всем системным параметрам можно определить, при каких значениях системных параметров достигается максимальная производительность. Во-вторых, можно использовать данные анализа чувствительности, который также базируется на модели производительности, но позволяет определить чувствительность микропроцессорной производительности системы к характеристикам модели, то есть, ко всем системным параметрам S , P , M и T .

Уравнение (1), представляющее собой модель производительности, можно использовать для определения числа микропроцессоров БПЛА N_{max} , при котором будет достигнута наивысшая микропроцессорная производительность роя БПЛА при автономном управлении БПЛА. Известно, что в точке максимума (см. рисунок 2) тангенс угла наклона касательной к кривой $\Pi(N)$ равен нулю. Он задается производной функции

$P(N)$ по N при фиксированных значениях остальных параметров [16]. На практике мы можем получить дробное значение для числа микропроцессоров, однако в реальной жизни используется целое значение для количества БПЛА в рое и, следовательно, мы имеем возможность оценить ухудшение (или улучшение) производительности из-за того, что нельзя на практике реализовать оптимальное решение (для полученного дробного значения максимальной производительности).

Представленные рассуждения верны при существовании производных функций. В инженерном проектировании сложных систем, к классу которых относятся и распределенная многопроцессорная система роя БПЛА при автономном управлении, это предположение часто не выполняется. Часто, тарифы на передачу данных или использование БПЛА выражаются дискретными значениями (имеются разрывы в расценках, тарифах). Микропроцессорная производительность цифровых систем БПЛА также обычно выражается дискретными значениями. Следовательно, при анализе необходимо убедиться, что поиск максимума не ограничен областью существования производной, поскольку может существовать случай много экстремальности и т.п.

4. Заключение

В работе показано, что при применении роя БПЛА распылителей в точном сельском хозяйстве целесообразно иметь оценку микропроцессорной производительности БПЛА, в первую очередь, при их автономном применении. Оптимальные решения при инженерном подходе к проектированию наиболее часто используются на фазах детального проектирования [17-20]. На более ранних фазах жизненного цикла роевой системы БПЛА актуально нахождение предпочтительных решений, не являющихся, например, оптимальным по производительности, но позволяющих выявить зависимость микропроцессорной производительности системы от системных параметров. Выбор конкретного БПЛА, различной по загрузке распылительной системы БПЛА, способа взаимодействия БПЛА в рое (централизованное управление или автономный режим) определяет как оптимальную микропроцессорную производительность в системе, так и степень риска, производственные ограничения, профессионализм пользователей (операторов БПЛА), сопровождаемость и масштабируемость системы. Все это влияет на выбор решения и, возможно, заставит выбрать решение, не обеспечивающее оптимальной

производительности. Но и в такой ситуации, используя предложенную методику, важно получить решение оптимизационной задачи, так как это позволит оценить объем усилий и ресурсов, которые стоит затратить на улучшение неоптимального решения.

Список литературы

1. Puri V. Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture / V. Puri, A. Nayyar, L. Raja // J. Stat.Manag. Syst. – 2017. – 20. – 507-518.
2. Mogili U.R. Review on application of drone systems in precision agriculture / U.R. Mogili, B. Deepak // Procedia Comput. Sci. – 2018. – 133. – 502-509.
3. Tsouros Dimosthenis. (2019). A Review on UAV-Based Applications for Precision Agriculture / Tsouros Dimosthenis, Bibi Stamatia, Sarigiannidis Panagiotis // Information. – 2019. – 10(11). – P. 349. <https://doi.org/10.3390/info10110349>
4. Бауэрс П. Летательные аппараты нетрадиционных схем / П. Бауэрс. – М.: Мир, 2016. – 320 с.
5. Yinka-Banjo C. Sky-Farmers: Applications of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in Agriculture / C. Yinka-Banjo, O. Ajayi // Autonomous Vehicles. IntechOpen. – 2020. <https://www.doi.org/10.5772/intechopen.89488>.
6. Зубарев Ю.Н. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве / Ю.Н. Зубарев, Д.С. Фомин, А.Н. Чашин, М.В. Заболотнова // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2019. – 2. – С. 47-51. – <https://www.doi.org/10.7242/2658-705X/2019.2.5>
7. Труфляк Е.В. Основные элементы системы точного земледелия / Е.В. Труфляк. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 39 с.
8. Puente-Castro Alejandro. UAV swarm path planning with reinforcement learning for field prospecting / Puente-Castro Alejandro, Rivero Daniel, Pazos Alejandro, Fernandez-Blanco Enrique // Applied Intelligence. – 2022. – 52. – <https://www.doi.org/10.1007/s10489-022-03254-4>
9. Kovalev D.I. GERT-analysis of transport technological cycles of unmanned aerial vehicles / D.I. Kovalev, V.A. Podoplelova, T.P. Mansurova // Informatics. Economics. Management. – 2022. – № 1(1). – P. 0110-0120. – <https://doi.org/10.47813/2782-5280-2022-1-1-0110-0120>
10. Haifeng Ling. "Modelling and Simulation of Distributed UAV Swarm Cooperative Planning and Perception" / Haifeng Ling, Hongchuan Luo, Haisong Chen, Linyuan Bai,

- Tao Zhu, Yanjun Wang // *International Journal of Aerospace Engineering*. – 2021. – Vol. 2021. – Article ID 9977262. – P. 11. – <https://doi.org/10.1155/2021/9977262>
11. Vásárhelyi G. Optimized flocking of autonomous drones in confined environments / G. Vásárhelyi, C. Virágh, G. Somorjai, T. Nepusz, A. E. Eiben, and T. Vicsek // *Science Robotics*. – 2018. – Vol. 3(20).
 12. Chung S.-J. A survey on aerial swarm robotics / S.-J. Chung, A. A. Paranjape, P. Dames, S. Shen, V. Kumar // *IEEE Transactions on Robotics*. – 2018. – Vol. 34(4). – P. 837-855.
 13. Huuskonen J. Soil sampling with drones and augmented reality in precision agriculture / J. Huuskonen, T. Oksanen // *Comput Electron Agric*. – 2018. – 154. – P. 25-35.
 14. Boehm Barry. Software Engineering Economics / Barry Boehm // *IEEE Transactions on Software Engineering*. – 1984. – Vol. SE-10(1). – P. 4-21.
 15. Boehm Barry W. Software Engineering Economics / Barry W. Boehm // Prentice Hall. – 1981.
 16. Kovalev D. (2021). Review of approaches and methods to assess the comparative efficiency of technological processes and production / D. Kovalev, M. Kozlova, O. Olshevskaya, T. Mansurova // *Modern Innovations, Systems and Technologies*. – 2021. – 1(3). – P. 1-21. – <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-3-1-21>
 17. Хорт Д.О. Применение беспилотных летательных аппаратов (дронов) в точном земледелии / Д.О. Хорт, Г.И. Личман, Р.А. Филиппов, А.И. Беленков // *Фермер. Поволжье*. – 2016. – № 7. – С. 34-37.
 18. Сулейменов Б.У. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в точном земледелии: обзор / Б.У. Сулейменов, С.И. Танирбергенов // *Почвоведение и агрохимия*. – 2018. – 2. – С. 85-100.
 19. Kovalev I. V. GERT analysis of UAV transport technological cycles when used in precision agriculture / I.V. Kovalev, D.I. Kovalev, A.A. Voroshilova, V.A. Podoplelova, D.A. Borovinsky // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci*. – 2022. – 1076 012055.
 20. Илюхин С.Н. Оценка производительности бортового вычислителя беспилотного летательного аппарата при реализации процесса наведения / С.Н. Илюхин, А.Н. Клишин // *Инженерный журнал: наука и инновации*. – 2018. – 7(79). – С. 6. – <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2018-7-1781>