

Электронный научный журнал "Математическое моделирование, компьютерный и
натурный эксперимент в естественных науках" <http://mathmod.esrae.ru/>

URL статьи: mathmod.esrae.ru/50-208

Ссылка для цитирования этой статьи:

Евсеев Д. А., Дорошенко В.М.. Актуальные протоколы передачи данных для беспилотных
автоматизированных систем // Математическое моделирование, компьютерный и натурный
эксперимент в естественных науках. 2025. №2

УДК 004.045

DOI:10.24412/2541-9269-2025-2-16-22

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОТОКОЛЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Евсеев Д.А.¹, Дорошенко В.М.²

¹Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, danilaevs07@gmail.com

²Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, dorvalentina9@gmail.com

CURRENT DATA TRANSMISSION PROTOCOLS FOR UNMANNED AUTOMATED SYSTEMS

Evseev D.A.¹, Doroshenko V.M.²

¹Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia,
Saratov, danilaevs07@gmail.com

²Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia,
Saratov, dorvalentina9@gmail.com

Аннотация. В статье показан результат сравнительного анализа актуальных протоколов передачи данных для беспилотных автоматизированных систем (БАС). Продемонстрирован выбор наиболее актуальных и эффективных протоколов передачи данных для военной, агропромышленной и экологической отраслей, а так же использование БАС в гражданской отрасли и логистике.

Ключевые слова: беспилотные системы, протоколы передачи данных, FPV, агропромышленные средства, военные беспилотные системы.

Annotation. A comparative analysis of current data transmission protocols for unmanned automated systems (UAS) has been performed. Selection of the most suitable data transmission protocols for the military, agro-industrial and environmental industries, as well as the use of UAS in the civilian industry and logistics.

Keywords: unmanned systems, data transmission protocols, FPV, agro-industrial facilities, military unmanned systems.

Протоколы передачи данных (ППД) беспилотных автоматизированных систем (БАС) используются и развиваются ежедневно, присутствует достаточно много работ, описывающих принцип действия ППД и отрасль их

применения [1-5]. Используя информацию, полученную в приведенных выше работах, можно подобрать наиболее оптимальные протоколы под разные задачи использования, включая промышленную (агропромышленность, добычу полезных ископаемых), гражданскую и поисково-спасательные отрасли.

Существует большое количество ППД, например [5-8], но каждый протокол имеет свои особенности использования и свои технические характеристики. Для сравнения в статье будет рассмотрено три наиболее используемых протокола для каждой из отраслей.

Протоколы ППД для коммерческой отрасли

На текущий момент наиболее развивающаяся отрасль БАС – коммерческая(логистика, инспекция, строительство, контроль безопасности и спасательные операции). Для сравнительного анализа возьмем БАС типа FPV. Особенностью данной технологии, с точки зрения передачи данных является стабильность канала связи, обеспечивающие передачу телеметрии и видео в реальном времени без задержек. В таблице 1 приведены технические характеристики наиболее применяемых на данный момент протоколов.

Таблица 1. Характеристики ППД для БАС в коммерческой отрасли

Протокол	Частота	Скорость передачи данных	Дальность действия	Энергопотребление
Zigbee	2,4 ГГц	До 250 Кбит/с	До 1 км (при идеальных условиях)	Низкое
Bluetooth (BLE – Bluetooth Low Energy)	2,4 ГГц	До 2 Мбит/с	До 100м (без усилителей)	Очень низкое
XBee (IEEE 802.15.4)	868 МГц, 900 МГц, 2,4 ГГц	До 250 Кбит/с	До 50 км	Среднее
Iridium (спутниковая связь)	L-диапазон (1616 – 1626,5 МГц)	До 2,4 Кбит/с	Глобальное покрытие	Высокое
OcuSync (DJI)	2,4 ГГц / 5,8 ГГц	До 50 Мбит/с	До 15 км (при идеальных условиях)	Среднее
LTE-M (Long-Term Evolution for Machines)	700 – 2600 МГц	До 1Мбит/с	До 20 км (в зоне покрытия)	Низкое

Рассмотрим особенности выше перечисленных протоколов более подробно.

Протокол Zigbee [9] – это беспроводной стандарт для маломощных сетей. Он обладает малым энергопотреблением, хорошей помехоустойчивостью и имеет возможность работать в сетях Mesh[10]. Данный протокол обладает такими недостатками, как малая дальность и низкая скорость передачи данных. Он может подойти под такие задачи, как связь между группами дронов или быть использован для автоматизированного управления в промышленных зонах, так же его используют для контроля публичных мероприятий.

Следующий протокол, на котором хотелось бы остановить внимание это Bluetooth (BLE – Bluetooth Low Energy)[11], он предназначен для ближней связи и использования низкого энергопотребления, прост в интеграции с мобильными устройствами. Его используют для настройки и калибровки дронов через мобильно приложение, а также для локального управления дронами.

XBee (IEEE 802.15.4)[12] так же поддерживает технологию Mesh, позволяющая взаимодействовать дронам между собой, имеет хорошую дальность вплоть до 50 км, что позволяет использовать данный ППД в поисковых или спасательных операциях, а так же для логистики. Но для надежной работы, требуется подходящая инфраструктура, так же протокол используют для связи дронов в распределительных системах.

Протокол Iridium(спутниковая связь)[13] имеет глобальное покрытие. Основными отличительными особенностями этого протокола можно считать именно дальность покрытия, но при этом он имеет очень низкую скорость передачи. За счет своих особенностей, его можно использовать в труднодоступных человеку местах, таких как, Арктика, пустыни и моря. Данный ППД повсеместно используют в исследовательских и анализирующих беспилотниках. В случае особой надобности, протокол можно использовать в спасательных операциях. Его главным недостатком является – стоимость, а именно цена обслуживания самой единицы техники.

LTE-M (Long-Term Evolution for Machines)[14] – протокол для IoT-устройств[15] в мобильных сетях, обладает энергосберегающей передачей данных и возможностью работы через сотовую связь. Ему пресуща ограниченная зона покрытия и он не подходит для передачи видео. Данный ППД подойдет для мониторинга дронов и передачи телеметрии.

Подводя итог можно сделать вывод, что подбор оптимального протокола для передачи данных в коммерческой отрасли будет основан на непосредственном запросе и поставленных задачах. Так, для обеспечения устойчивого сигнала, передаваемого на дальнейшее расстояние лучше использовать XBee или Iridium. Если же важна четкость и качество изображения передаваемого с камер беспилотного летательного аппарата, то лучше всего использовать технологию DJI. При высокой необходимости отсутствия задержек используют тот же OcuSync на частоте 5.8 ГГц или XBee при частоте 2,4 ГГц.

Протоколы ППД для промышленной отрасли

С развитием технологий БАС, они начали использоваться повсеместно, включая агропромышленность, добычу полезных ископаемых. Наиболее подходящими задачами для таких систем является мониторинг посевов и анализ состояния почвы, шахт или скважин[16-20]. В таблице 2 приведены технические характеристики наиболее применяемых на данный момент протоколов.

Таблица 2. Характеристики ППД для БАС в промышленной отрасли

Протокол	Частота	Скорость передачи данных	Дальность действия	Энергопотребление
LoRa (Long Range)	433 МГц, 868 МГц, 915 МГц	До 50 Кбит/с	До 15 км (при идеальных условиях)	Низкое
WiFi (802.11)	2.4 ГГц / 5 ГГц	До 1 Гбит/с	До 1-2 км (с усилителями вплоть до 5 км)	Высокое
DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)	2.4 ГГц	До 2 Мбит/с	До 5 км	Среднее
4G/5G (Сотовая связь)	700 МГц – 6 ГГц (4G); 24 ГГц – 100 ГГц (5G)	До 1 Гбит/с (4G); До 10 Гбит/с (5G)	Зависит от покрытия сотовой сети: До 15 км (4G) До 20 км (5G)	Высокое

Рассмотрим особенности выше перечисленных протоколов более подробно.

Протокол LoRa [21] имеет большую дальность связи, до 15 км, высокую помехоустойчивость и минимальное энергопотребление, но также он обладает низкой скоростью передачи видео(не подходит для видео), при увеличении дальности скорость передачи становится равной около 0,3 кбит/с, а так же высокой задержкой передачи информации, около 1-10 секунд, в зависимости от загруженности эфира. Если в приоритете является дальность действия, а не скорость передачи данных, то данный ППД идеально подойдёт, под такие нужды, как анализ почвы засевов, работа в шахтах и сбор текущих данных.

Протокол Wi-Fi [22] обладает такими особенностями, как передача видео в реальном времени и управлением БАС на небольших расстояниях, а так же производит синхронизацию с базовыми станциями. К его положительным аспектам можно отнести высокую скорость передачи видео(работе в реальном времени) и широкую доступность оборудования(можно использовать под большое количество задач). Но данный ППД имеет высокое энергопотребление, минимизируя время его работы, а также он чувствителен к помехам от других устройств.

Протокол DSSS [23] имеет возможность работы с телеметрией, обладает надежной связью между оператором и БАС. Данный протокол защищен от помехоустойчивости, но обладает малой дальностью действия(относительно аналогов). Если задачей является анализ поверхности почвы или регулировка температуры, то данный протокол будет приоритетным, из-за отсутствия аналогов по таким же характеристикам.

Протокол Wi-Fi [24] может быть использован без оператора, за счет полной автоматизации процесса. Производит передачу данных с БАС на сервер в режиме реального времени. Благодаря этому протоколу, получается потоковое видео высокой четкости, управление БАС можно вести на больших расстояниях (при наличии сети). К его минусам можно отнести наличие покрытия сотовой сети и высокое энергопотребление.

Подводя итог можно сделать вывод, что подбор оптимального протокола для передачи данных в промышленной отрасли будет основан на непосредственном запросе и поставленных задачах. Так, для сенсорных данных и телеметрии идеально подходит LoRa, для качества видео и управления на малых дистанциях лучше всего подходит Wi-Fi, DSSS является надежный протокол для связи с БАС, 4G/5G быстрый, но требует сотового покрытия и много энергии.

Таким образом, выбор подходящего протокола передачи данных для беспилотных систем зависит от специфики задачи и условий эксплуатации. Для военных целей предпочтительнее использовать протоколы с высокой степенью безопасности и помехоустойчивости, в то время как в горнодобывающей промышленности и агропромышленности акцент стоит на дальности связи и энергоэффективности.

Литература

1. Шарапов И. О., Печурин В. В., Чеботарь И. В. Вариант построения системы передачи данных и управления беспилотной интеллектуальной авиационной системы местоопределения источников радиоизлучений //Вестник Ярославского высшего военного училища противовоздушной обороны. – 2018. – №. 2. – С. 154-161.
2. Давыдов Ю. М. Загоризонтная радиолокация обнаружения воздушных целей–мощное средство добывания радиолокационной информации и

- интеллектуальной обработки //Вестник Академии военных наук. – 2012. – №. 4. – С. 154-159.
3. Кичко Я. В. Протоколы маршрутизации, применяемые в сетях передачи данных группы беспилотных летательных аппаратов, их достоинства и недостатки //Региональная информатика и информационная безопасность. – 2022. – С. 64-67.
 4. Замятин П. А. Системы управления беспилотными летательными аппаратами //Инновационная наука. – 2020. – №. 4. – С. 37-42.
 5. Лядова Е. Ф. Организация информационного взаимодействия в системе мониторинга на базе беспилотных летательных аппаратов при использовании спутниковых систем связи в условиях накладываемых ограничений //– 2020. –51 С.
 6. Мартын А. Ф., Дмитриенко М. Е., Ерыгин В. В. Коммуникационные сети беспилотных летательных аппаратов: достоинства, исследовательские задачи и открывающиеся трудности //Перспективы науки в условиях инновационного развития. – 2023. – С. 18-21.
 7. Довгаль В. А. Интеграция сетей и вычислений для построения системы управления роем дронов как сетевой системы управления //Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2022. – №. 1 (296). – С. 62-76.
 8. Гуров В. А. Разработка и исследование алгоритма перемещения беспилотных летательных аппаратов в составе роя по заранее заданным маршрутам //Шаг в науку. – 2024. – №. 4. – С. 41-46.
 9. Naque H. et al. IoT based water quality monitoring system by using Zigbee protocol //2021 International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI). – IEEE, 2021. – С. 619-622.
 10. Джабраилов Б. И. и др. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОСТРОЕНИЯ БЕЗОПАСНЫХ MESH-СЕТЕЙ //Вестник Комплексного научно-исследовательского института им. ХИ Ибрагимова РАН. – 2021. – №. 2. – С. 93-102.
 11. Barua A. et al. Security and privacy threats for bluetooth low energy in iot and wearable devices: A comprehensive survey //IEEE Open Journal of the Communications Society. – 2022. – Т. 3. – С. 251-281.
 12. Mishra V. M. et al. FPGA integrated IEEE 802.15. 4 ZigBee wireless sensor nodes performance for industrial plant monitoring and automation //Nuclear Engineering and Technology. – 2022. – Т. 54. – №. 7. – С. 2444-2452.
 13. Lau Y. H. et al. Reliable long-range communication for medical cargo UAVs using low-cost, accessible technology //2021 IEEE International Humanitarian Technology Conference (ИНТС). – IEEE, 2021. – С. 1-8.
 14. Wilson A. N. et al. Embedded sensors, communication technologies, computing platforms and machine learning for UAVs: A review //IEEE Sensors Journal. – 2021. – Т. 22. – №. 3. – С. 1807-1826.

15. Мешитбай Н. М., Калиаскарова А. Д., Кадылбеккызы Э. Интернет вещей (IoT) в логистике //ВОПРОСЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА Учредители: ООО" Институт развития образования и консалтинга". – №. 5. – С. 1187-1193.
16. В. Я. Гольтяпин, Н. П. Мишуров, В. Ф. Федоренко [и др.] Цифровые технологии для обследования состояния земель сельскохозяйственного назначения беспилотными летательными аппаратами: Аналитический обзор – Москва: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2020. – 88 С.
17. Н. П. Мишуров, О. В. Кондратьева, В. Я. Гольтяпин [и др.]. Зарубежный опыт цифровизации сельского хозяйства : Аналитический обзор – Москва: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2022. – 224 С.
18. Igorevna P. A. The assessment of the potential soil fertility model for fallow lands when converted to arable land under the climate change: a case study of Yaroslavl oblast. – 2024.
19. Исаков И., Аннабердиев А. Революция в горнодобывающей промышленности: технологии будущего, меняющие подход к добыче //международный научный журнал инновационная наука. – 2024. –160 С.
20. Полеванов В. П. XXI век: новые технологии и полезные ископаемые //Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности. – 2024. – Т. 7. – С. 180-192.
21. TBS CROSSFIRE TX - LONG RANGE R/C TRANSMITTER // Team BlackSheep URL: <https://www.team-blacksheep.com/> (дата обращения: 23.02.2025).
22. Довгаль В. А., Довгаль Д. В. Анализ уязвимостей и угроз безопасности роя дронов с поддержкой Wi-Fi, противостоящего атакам злоумышленников //Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2020. – №. 3 (266). – С. 67-73.
23. Chirov D. S. et al. Construction of a Communication Channel with UAVs Based on Direct Sequence Spread Spectrum Signals //2024 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. – IEEE, 2024. – С. 1-4.
24. Листопад, А. И. Развитие технологий iCNS для интеграции беспилотной авиации в воздушное пространство / А. И. Листопад, О. Н. Скрыпник // Беспилотные аппараты «БПЛА – 2024»: сборник статей Междунар. молодежного форума, Минск, 22–26 апреля 2024 г. - Минск: БГТУ, 2024. – С. 205-208.