
Бурый А.С., Шевкунов М.А. Оценка качества беспилотных авиационных систем мониторинга окружающей среды // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования, 2017. № 6(40).

УДК 004.94:504.064.36

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Бурый А.С., д.т.н., ФГУП «Российский научно-технический центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия» (ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»)

Шевкунов М.А., соискатель ФГУП «Российский научно-технический центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия» (ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»)

Аннотация. В работе представлен подход и постановка задачи синтеза беспилотной авиационной системы, осуществляющей мониторинг окружающей среды, по векторному показателю эффективности, исходя из особенностей группового использования беспилотных воздушных судов.

Ключевые слова: беспилотное воздушное судно, беспроводная самоорганизующаяся сеть, параметры сетевого взаимодействия, стандарт сжатия видеoinформации.

UDC 004.94:504.064.36

QUALITY ASSESSMENT OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS FOR ENVIRONMENTAL MONITORING

Buryy A.S., doctor of technical sciences, Director of the Department of all-Russian classifiers, FGUP «Russian Research and Development Information Center on Standartization, Metrology and Compliance Check» (FGUP «STANDARTINFORM»)

Shevkunov M.A. applicant of the FGUP «Russian Research and Development Information Center on Standartization, Metrology and Compliance Check» (FGUP «STANDARTINFORM»)

Abstract. The paper presents the approach and the problem of synthesis of unmanned aircraft systems that monitor the environment on vectorial efficiency index based on characteristics of a group use unmanned aircraft.

Key words: unmanned aircraft, wireless self organizing network parameters network communications, a standard of video compression.

В настоящее время активное развитие, тенденции и перспективы [1], а также успехи, достигнутые в области создания беспилотных летательных аппаратов, позволяют существенно выигрывать в экономическом и оперативном плане при выполнении задач, связанных с мониторингом объектов на поверхности Земли. В данной статье будем использовать термин *беспилотное воздушное судно* (БВС), «управляемое в полете пилотом, находящимся вне его борта, или выполняющее автономный полет по заданному предварительно маршруту» [2]. Рост производства и потребления БВС показан на рис.1. Причем задачи, связанные с мониторингом все больше приобретают технико-экономическую окраску: аэрофотосъемки в сельском хозяйстве, мониторинг лесных ресурсов, обнаружение и контроль чрезвычайных ситуаций (пожаров, паводков, поисково-спасательные работы), контроль особо-важных объектов (газопроводов, атомных станций) и ряд других. Эффективность решения такого класса задач повышается при применении одновременно нескольких БВС, объединенных в группу, которые совместно с наземными средствами управления и передачи-получения данных составляют *беспилотную авиационную систему* [2] мониторинга окружающей среды (БСМ). Данный подход подтверждается растущим интересом, как отечественных, так и зарубежных разработчиков к исследованиям и практической реализации методов и алгоритмов управления организованными группами БВС [3-6].

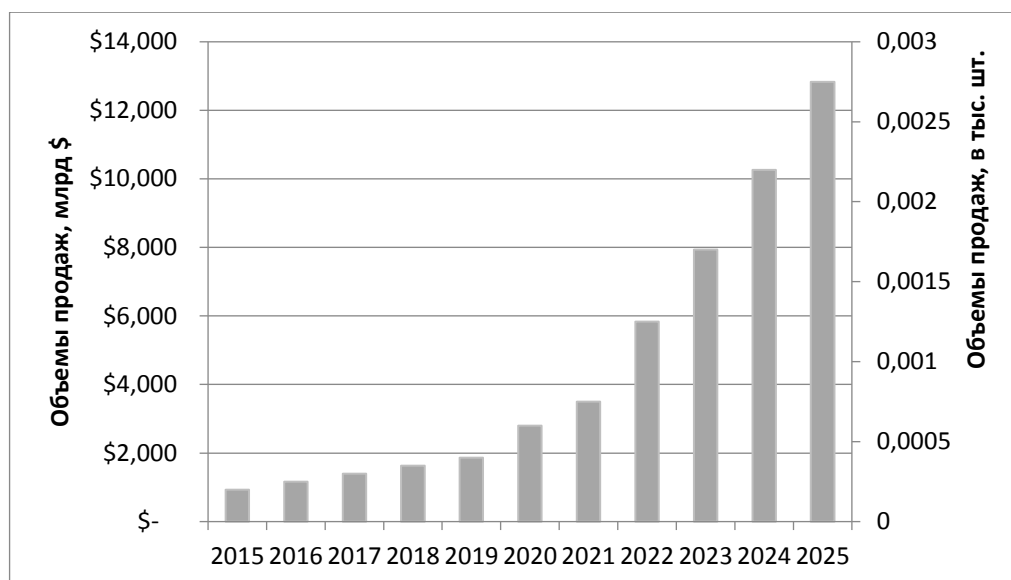


Рис. 1. Итоги и прогнозы производства БВС по данным Tractica [1]

Сетецентрический подход к организации группы БВС [7] позволяет говорить об интенсивном обмене информацией внутри сети, как следствие, возникновению задачи оценки возможного количества устройств, способов информационного обмена, в условиях ограниченной пропускной способности такой сети.

Из всего многообразия устройств, устанавливаемых на БВС, наибольший информационный поток создается камерами видеонаблюдения, поэтому оценку возможности сетецентрических структур целесообразно проводить, исходя из условия максимальной загрузки сети, когда на каждом летательном аппарате установлена видеокамера, и все они передают видеопоток на пункт управления. Иногда в составе группы БВС может использоваться аппарат-ретранслятор, функциональное назначение которого – прием информации от группы объектов и ретрансляция ее в пункт управления. В этом случае снижаются требования к кодированию информации и к мощности передатчика БВС. Объем видеопотока зависит от разрешающей способности видеокамер, от используемых кодеков сжатия [8], выбранной частоты кадров для видеокамер, интенсивности движения

объектов наблюдения в поле зрения камер. Также существенное влияние на объем видеопотока оказывает выбранная детализация изображения, которая в свою очередь находится в непосредственной зависимости от параметров движения БВС.

Для решения целевых задач беспилотными системами мониторинга формируется вектор показателей эффективности с точки зрения успешного выполнения операции, за счет своевременного предоставления достоверной информации лицу, принимающему решение [9]. Вектор показателей есть

$$\Pi = \{\pi_j\}, j = \overline{1, m}, \quad (1)$$

каждый из которых отражает определенные требования по отдельным критериям, предъявляемым к БСМ в целом. Здесь $m = \text{card}(\Pi)$, а Π – вектор-множество. Среди возможных показателей будем различать [10, 11]:

показатели качества (quality indicator) – π_j^q , т.е. количественные характеристики, оценивающие свойства БСМ, например, разрешающая способность, диапазон видеонаблюдения и др.;

показатели эффективности (performance indicator) – π_j^p в виде количественных характеристик требований к БСМ для выбора варианта системы, который обеспечивает, например, лучшую оперативность, производительность и т.д.;

показатели ресурсоемкости (resource-intensity) – π_j^r , т.е. затраты сил и средств (оборудование, структура построения, эксплуатационные расходы, источники питания или их срок службы и др.).

Таким образом, возникает ситуация, когда варианты системы приходится сравнивать не по одному показателю эффективности, а по нескольким, что в большинстве случаев сводится к переходу к однокритериальной задаче, когда фиксируется один целевой показатель,

который и оптимизируется, а остальные критерии переводят в разряд ограничений.

Следует отметить, что в эргатических системах [12] для задач выбора в многокритериальном пространстве определяющим звеном является человек (оператор). Векторный критерий (1) задает набор локальных целей, часть из которых могут быть взаимно противоречивыми [11], поэтому дополнительными факторами зачастую выступают эвристические знания, предпочтения, интуиция человека или, другими словами, эргатическая информация, возникающая в ходе интеллектуализированного человеко-информационного взаимодействия в процессе управления БСМ.

Остановимся на двух основных режимах применения беспилотной системы мониторинга:

1. Оперативный режим, когда видеoinформация одновременно поступает от всех БВС в пункт управления, где анализируется как операторами, так и системами распознавания, что актуально для систем поиска и спасения людей, оперативного контроля особо важных объектов и т.д.;

2. Режим слепополетного анализа информации, когда фактор оперативности не является доминирующим, что характерно при наблюдении за обширными районами в автономном полете БВС при проведении кадастрового учета, экологических исследованиях местности, изучении природных ресурсов и других задач.

Применительно к первой задаче в состав вектора показателей (1) целесообразно включить [10, 13]: π_1^q – параметры поля зрения аппаратуры наблюдения; π_2^q – минимальная яркость объектов обнаружения; π_3^q – разрешающая способность; π_4^q – диапазон видеонаблюдения; π_5^p – дальность действия беспилотной авиационной системы; π_6^p – время выполнения одного сеанса; π_7^p – оперативность, как время доставки получателю результатов

мониторинга; π_j^r ($j=8, 9, 10\dots$) – соответственно сроки гарантированного применения БВС, число резервных БВС, режимы применения по целевому назначению.

Бортовая система наблюдения во многом определяет требования к параметрам движения БВС (высоте и скорости полета). Исходя из геометрического построения изображения местности в оптической системе видеокамеры на базе ПЗС-матрицы (см. рис. 2), опишем основные составляющие, участвующие в построении видеокадра.

Светочувствительная матрица задана линейными размерами $l_x \times l_y$, при размере одного пикселя, соответственно – $p_x \times p_y$; $L_x \times L_y$ – разрешение светочувствительной матрицы на местность; $P_x \times P_y$ – размер разрешения одного пикселя на местность, f – фокусное расстояние объектива камеры, H – высота полета БВС, α_x и α_y – углы обзора объектива камеры по горизонтали и вертикали соответственно.

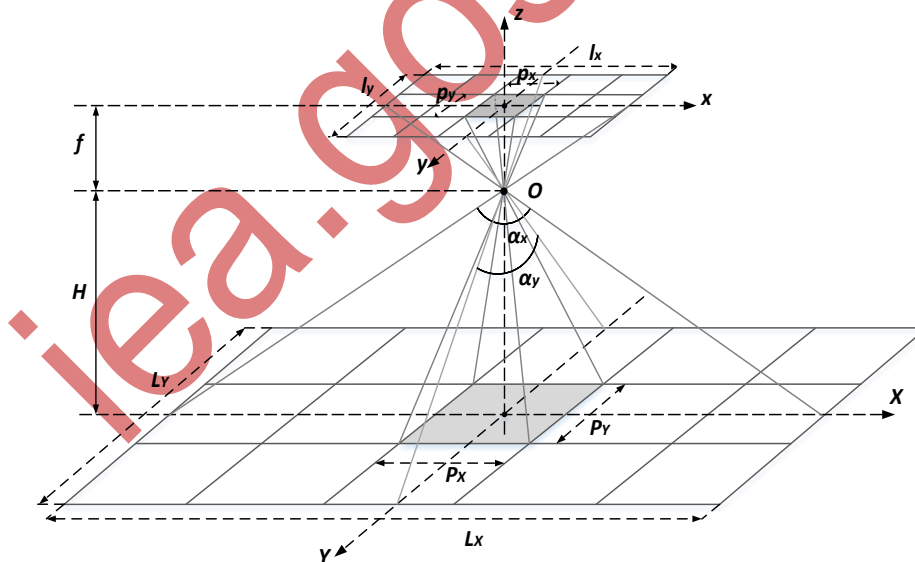


Рис. 2 – Геометрическое отображение матрицы на местность

Из рисунка видно, высота полета (H) БВС определяется, как

$$H = \frac{P_x f}{P_x} . \quad (2)$$

В уравнении (2) значение P_x задается при расчете в качестве исходного требования, значения f и p_x – являются известными техническими характеристиками системы «светочувствительная матрица – объектив камеры».

Иногда, вместо фокусного расстояния и размера пикселя производитель задает углы обзора камеры α_x и α_y и общий физический размер $l_x \times l_y$ светочувствительной матрицы. Тогда, зная разрешение камеры $q_x \times q_y$, нетрудно получить размер одного пикселя как частное от деления l на q .

Зависимость высоты съемки БВС от разрешения одного пикселя на местности и угла обзора находится из следующих соотношений:

$$L_x = q_x \cdot P_x \quad \text{и} \quad \frac{L_x}{2} = H \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_x}{2} \right).$$

Следовательно, выражение (2) перепишем в виде:

$$H = \frac{q_x P_x}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha_x}{2}}. \quad (3)$$

Оценим максимальные сетевые возможности группы БВС из n , которые обеспечивают результирующий информационный поток в самоорганизующихся mesh-сетях [14]. Максимальный информационный поток B_{max} в сети, при скорости потока от любой i -ой видеокамеры, равной соответственно $V(i)$, и при условии равенства потоков от каждой бортовой видеокамеры с учетом [15], запишем, как

$$n = \frac{B_{max}}{V(i)}. \quad (4)$$

В выражении (4) и ниже индекс " i " соответствует параметрам конкретной видеокамеры, которые могут отличаться для различных БВС. Однако в постановочном плане в данной работе считаем, что они равны для всех n объектов группы. Для увеличения надежности работы сети, в части предотвращения непредвиденных перегрузок от изменения интенсивности

движения перед видеокамерами, значение B_{max} уменьшается на 25-30 %, тогда

$$n = \frac{B_{max}}{1,3V(i)}. \quad (5)$$

Скорость потока от i -ой видеокамеры $V(i)$ определяется как произведение размера кадра M_i на частоту кадров в секунду ν_i

$$V(i) = M_i \nu_i, \quad (6)$$

следовательно, после подстановки (6) в выражение (5), получим

$$n = \frac{B_{max}}{1,3M_i \nu_i}. \quad (7)$$

Размер кадра M – это произведение количества пикселей в строке q_x светочувствительной матрицы на их количество в столбце q_y и глубину цвета g , которая задается количеством бит, используемым для кодирования цвета пикселя. Данное утверждение справедливо для несжатого видеопотока. Так как видеопоток в канал передается после процессорной обработки и в сжатом виде, то необходимо учитывать степень сжатия $k_{сж}$, тогда, опуская индекс i при каждом элементе, выражение (6) перепишем в следующем виде:

$$V = q_x q_y g k_{сж} \nu. \quad (8)$$

Степень сжатия $k_{сж}$ зависит в первую очередь от применяемого кодека, а так же от многих других параметров. Например, для кодека H.264, как наиболее популярного в системах видеонаблюдения [8], такими параметрами являются «сложность кадра», учитывающая количество объектов в кадре и «интенсивность их перемещения» в поле кадра, количество опорных кадров и т.д. Более того, данные параметры могут меняться во времени, поэтому при решении инженерных задач скорость потока от i -ой видеокамеры $V(i)$ оценивается сверху и снизу с помощью калькуляторов, предоставляемых производителями камер видеонаблюдения или по табличным значениям в документации на изделия. При настройке режима работы камеры задается

верхнее значение $V(i)$, в процессе работы программными средствами осуществляется постоянная регулировка параметров сжатия.

Учитывая вышеизложенное и то, что оценка $V(i)$ у каждого производителя немного отличается, будем использовать некоторые усредненные характеристики, приведенные в табл. 1 [15].

Таблица 1.

Скорость потока Мбит/с для кодека H.264

Разрешение камеры M	Размер кадра $q_x \times q_y$ (пикселей)	Частота кадров v		
		24 к/с	12 к/с	6 к/с
1,2 Мп	1280×960	3,87	2,20	1,28
1,9 Мп	1600×1200	6,03	3,42	1,99
2,1 Мп	1920×1080	6,51	3,69	2,15
3 Мп	2048×1536	9,86	5,59	3,24

Таким образом, для расчета количество видеочакомер n в группе БВС используется формула (7), считая, что значения M и v взяты из таблицы 1 и уже учитывают сжатие потока с помощью кодека H.264.

С точки зрения потребителя, БСМ должна выполнять целевую задачу с максимальной достоверностью, под которой обычно понимают вероятность получения информации с максимальной точностью. Выберем в качестве критерия предпочтения в обобщенной постановке задачу максимизации вероятности получения достоверной информации от БСМ, т.е.

$$P_{\text{д}}^{\text{БСМ}} \rightarrow \max \{ \pi_j^q \leq \bar{\pi}_j^q \text{ при } j = 1, \dots, 4; \pi_j^p \leq \bar{\pi}_j^p \text{ при } j = 5, 6, 7, \}$$

где $P_{\text{д}}^{\text{БСМ}}$ – достоверность поступающей информации, а обозначения с чертой соответствуют требуемым значениям показателей качества и эффективности, заданных в форме ограничений.

Таким образом, задача синтеза параметров системы мониторинга разбивается на ряд этапов, на первых из которых по предварительным требованиям к получаемой информации формируются требования к

бортовым системам, типам БВС. На последующих этапах оцениваются структурные возможности БСМ для решения целевых задач мониторинга окружающей среды.

Список использованных источников и литературы

1. Commercial Drone Shipments to Surpass 2.6 Million Units Annually by 2025. [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL: <https://www.tractica.com/newsroom/press-releases/>.
2. ГОСТ Р 57258-2016. Системы беспилотные авиационные. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2016. – 8 с.
3. Каляев И.А., Капустян С.Г., Гайдук А.Р. Самоорганизующиеся распределенные системы управления группами интеллектуальных роботов, построенные на основе сетевой модели // Управление большими системами. 2010, – Вып 30.1. – С. 605-639.
4. Бурый А.С., Фомичев И.Д. Интеллектуальное планирование применения группы беспилотных летательных аппаратов // Транспортное дело России. 2013. – № 6. – С. 100-101.
5. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Интеллектуальное планирование применения группы беспилотных летательных аппаратов // Транспортное дело России. 2015. – № 4. – С. 48-50.
6. Cheng H., Page J., Olsen J. Dynamic Mission Control for UAV Swarm via Task Stimulus Approach // American Journal of Intelligent Systems. 2012. V. 2. No 7. – P. 177-183.
7. Заборовский В.С., Мулюха В.А., Пашкин М.П., Попов С.Г. Сетецентрические алгоритмы управления для телематических сервисов толерантных к задержкам // Труды СПИИРАН. 2013. Вып.8(31). - С. 163-176.
8. Техническое сравнение форматов MPEG-2, H.264 и JPEG 2000. [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL: <http://mediasat.info/2015/08/10/video-compression/>.
9. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т. Т. 3. Эффективность технических систем / Под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.
10. Космические системы наблюдения: Синтез и моделирование / А.А. Лебедев, О.П. Нестеренко. – М. Машиностроение, 1991. – 224 с.
11. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 176 с.
12. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Подход к построению систем поддержки принятия решений при управлении беспилотными летательными аппаратами // Транспортное дело России. 2015. – № 6. – С. 199-202.

13. Лукашева Э.П., Силкин А.А., Чистяков Н.В. Элементарные соображения по беспилотной воздушной разведке и наблюдению поля боя, а также по оптимизации беспилотных систем. [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL: <http://www.uav.ru/articles/elementary.pdf>.

14. Гусс С.В. Самоорганизующиеся mesh-сети для частного использования // Математические структуры и моделирование. 2016. № 4(40). – С.102-115.

15. Гонга А.С., Падом А.Е. Топология сети и ее реализация // Алгоритм безопасности. 2014. – № 1. – С. 50-54.

© Бурый А.С.
© Шевкунов М.А.