

ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ С БОРТА БПЛА: СТАНДАРТЫ НАТО

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) уже столь широко распространены в армиях НАТО, что актуальной становится проблема их совместного применения. Соответственно, необходимы единые стандарты каналов связи с БПЛА. Работы над решением этой задачи еще продолжаются, однако уже сейчас можно подвести некоторые итоги, проанализировать общие требования к каналам связи с БПЛА и определить наиболее перспективные пути их реализации.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМАМ ПЕРЕДАЧИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ БПЛА

Основные требования по скорости передачи данных от бортовых сенсоров БПЛА сформулированы в стандарте НАТО STANAG 4609 Edition 2 и во второй редакции "Руководства по реализации" этого стандарта AEDP-8 [1]. Цель стандарта – повышение способности к взаимодействию между системами контроля и управления (С³I) НАТО в вопросах обмена цифровыми мультимедийными изображениями (телевизионными, радиолокационными и т. д.), в том числе формируемыми на борту БПЛА. При этом подразумевается, что прекращено развитие аналоговых средств передачи данных. STANAG 4609 базируется на коммерческих цифровых стандартах, что позволяет использовать для записи и передачи цифровых образов коммерческое оборудование. Кроме того, в нем учтены также специфические военные требования для метаданных, сопровождающих видеoinформацию. Стандарт STANAG 4609 предоставляет разработчикам систем максимальную гибкость, поэтому он не определяет ни физических интерфейсов для возможности соединения (стыка) различных систем, ни их конфигурации.

Название стандарта STANAG 4609 – Digital Motion Imagery – можно интерпретировать как "цифровые подвижные изображения, образы". Motion Imagery (MI) трактуется в тексте как "внешний вид или представление любой естественной либо искусственной сцены, расположенных на ней связанных объектов или протекающих на ее фоне процессов деятельности". Это более общее понятие, чем просто "видеоданные".

В.Слюсар, д.т.н.
swadim@inbox.ru

Основа требований к каналам передачи данных – качество мультимедийной информации. Оно характеризуется разрядностью и формой пикселей, их цветностью, а также количеством пикселей в кадре изображения, частотой кадров, форматом кадра (соотношением сторон), степенью сжатия изображения, вероятностью появления ошибочных пикселей в кадре, типом изображений и их содержанием. Конечно, для снижения необходимой скорости передачи данных в режиме воздушной разведки может использоваться и покадровая передача фотоснимков вместо потокового видео, однако при этом необходима дополнительная идентификация целей, особенно движущихся или маневрирующих. Сказанное относится не только к телевизионным, но и к радиолокационным изображениям. Кроме того, задача идентификации усложняется колебаниями платформы БПЛА. Переход к видеоданным позволяет упростить идентификацию движущихся целей, поэтому передача цифровых видеопотоков стала стандартным требованием к бортовым сенсорам современных БПЛА.

Сообщества пользователей НАТО выполняют разнообразные миссии, для которых необходимы различные системы формирования подвижных изображений. Доступные пользователям полосы пропускания также разнятся в широких пределах. Поэтому стандарт STANAG 4609 классифицирует всю совокупность MI по уровням сложности. Для этого в "Руководство по реализации" AEDP-8 введена матрица системы подвижных пространственно-временных образов (MISM), позволяющая отнести ту или иную систему MI к определенному уровню сложности (MISM-Level). Матрица MISM (EG 0220) имеет шесть общих категорий, охватывающих 15 уровней MI (MISM-L0 – MISM-L14) (табл.1).

Отдельные узлы системы в пределах цепи обработки изображений могут функционировать на различных уровнях MISM-L, при этом полная спецификация системы определяется узлом самого нижнего из используемых уровней MISM. В общем случае, чем ниже уровень в матрице, тем ниже качество изображений, однако этого столь однозначно нельзя сказать о требованиях к пропускной способности. Страны



Таблица 1. Уровни сложности систем подвижных изображений (MISM) [1]

Категория EG	Уровень сложности (MISM-L)	Характеристика систем MI
0220a	14 13 12	Перспективные системы MI с высоким разрешением (зарезервированы для будущих применений)
0220b	11 10 9	Высокое разрешение
0220c	8 7 6	Улучшенное разрешение
0220d	5 4 3	Стандартное разрешение
0220e	2 1	Узкая полоса пропускания
0220f	0	Низкое пространственное разрешение

НАТО могут применять системы любого уровня MISM, но способность к взаимодействию не гарантируется для изображений, чей уровень сложности превышает MISM-L10.

ТРЕБОВАНИЯ К ФОРМАТАМ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ И К КАНАЛАМ ИХ ПЕРЕДАЧИ

Руководство AEDP-8 подробно классифицирует изображения по уровням MISM, указывая требования по пропускной способности линий связи для неискаженной передачи цифрового видео (телевизионного или радиолокационного).

В качестве наиболее экономичного варианта модернизации аналоговых видеосистем специалисты рассматривают переход к цифровому видео повышенной четкости с прогрессивной разверткой и форматом изображения 720×480×60p (480p) или 720×576×50p (576p)*. Однако системы 576p и 480p не используют квадратные пиксели, что приводит к различному разрешению в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Это не всегда приемлемо для военных систем и к тому же не позволяет эффективно использовать дисплеи формата 16:9, которым в ближайшем будущем прочат роль стандарта в приложениях мультимедиа. Поэтому форматы видеоданных повышенной четкости 576p и 480p можно рассматривать лишь для ограниченного класса видеосистем, область применения которых не требует высокого пространственного или временного разрешения и не нуждается в средствах отображения формата 16:9.

Все остальные существующие и запланированные к разработке в течение ближайших 5–10 лет видеосистемы военного назначения в странах НАТО, в том числе для БПЛА, переводятся на стандарт видео высокой четкости (HD) SMPTE 296M-2001 с прогрессивной разверткой и форматом изображения 1280×720×(50p) 60p. В STANAG 4609 указано также, что в дальнейшем, по мере совершенство-

* Запись формата: [число пикселей по горизонтали]×[число пикселей по вертикали][число кадров в секунду и тип развертки: p – прогрессивная, i – чересстрочная]

Таблица 2. Уровни сложности MI высокого разрешения (0220b)

Уровень сложности	Применимый стандарт (не исключает другие варианты)	Разрешение по горизонтали, пикселей	Разрешение по вертикали, пикселей	Глубина пикселей, бит	Частота кадров, Гц	Коэффициент сжатия	Номинальная скорость канала передачи данных, Мбит/с	Диапазон скоростей передачи данных, Мбит/с	Возможная среда передачи (при номинальной скорости)
MISM-L11	SMPTE 296M-2001, Progressive modes of SMPTE 274M, 295M, 292M	1280–1920	720p–1080p	8 или 10	24–60	0	1485	360–2400	SMPTE 292M, OC-48
MISM-L10M	SMPTE 296M-2001, Progressive modes of SMPTE 274M, 295M MPEG-2 MP@HL	1280–1920	720p–1080p	8	24–60	10:1	80	34–100	SDI, E3, T3, OC-12
MISM-L10H	SMPTE 296M-2001, Progressive modes of SMPTE 274M, 295M H.264 MP@L4.1(8b) H.264 HP@L4.1 (8b) H.264 Hi10P@L4.1 (10b)	1280–1920	720p–1080p	8 или 10	24–60	20:1	40	17–50	T3
MISM-L9M	SMPTE 296M-2001, Progressive modes of SMPTE 274M, 295M MPEG-2 MP@HL	1280–1920	720p–1080p	8	24–60	45:1	19,4	10–44,7	TCDL, Half to Full T3, ATM
MISM-L9H	SMPTE 296M-2001, Progressive modes of SMPTE 274M, 295M H.264MP@L3.2(720) H.264 MP@L4.0 H.264 HP@L4.0	1280–1920	720p–1080p	8	24–60	80:1	10	5–20	TCDL

Таблица 3. Уровни сложности MI улучшенного разрешения (0220c)

Уровень сложности	Применимый стандарт (не исключает другие варианты)	Разрешение по горизонтали, пикселей	Разрешение по вертикали, пикселей	Глубина пикселей, бит	Частота кадров, Гц	Коэффициент сжатия	Номинальная скорость канала передачи данных, Мбит/с	Диапазон скоростей передачи данных, Мбит/с	Возможная среда передачи (при номинальной скорости)
MISM-L8	ITU-R BT.1358, SMPTE 294M-2001	640–960	480p–576p	8 или 10	24–60	0	360	135–540	SDI, OC-12
MISM-L7M	ITU-R BT.1358, SMPTE 294M-2001 MPEG-2 MP@HL	640–960	480p–576p	8	24–60	10:1	25	10–50	T3, ATM
MISM-L7H	ITU-R BT.1358, SMPTE 294M-2001 H.264 MP@L3 (L3.1 > 30)	640–960	480p–576p	8	24–60	20 :1	12	5–14	T3, ATM
MISM-L6M	ITU-R BT.1358, SMPTE 294M-2001 MPEG-2 MP@HL	640–960	480p–576p	8	24–60	45:1	5.5	3–15	GBS, ATM
MISM-L6H	ITU-R BT.1358, SMPTE 294M-2001 H.264 MP@L3 (L3.1 > 30)	640–960	480p–576p	8	24–60	80 :1	3	2–8	GBS, ATM

вания технологий, ожидается начало массового перехода на боевые видеосредства формата 1920×1080×50p (60p), и лишь в приложениях типа тренажерных средств, не требующих высокого временного разрешения, вместо этого могут ограниченно использоваться MI формата Full HD 1920×1080×24p/25p/30p.

Ориентированная на перспективные видеосредства максимальная по сложности категория MI EG 0220a охватывает "продвинутое" видео высокой четкости (Advanced HD) с разрешением не менее 1920×1080 пикселей и кадровой частотой 48–120 Гц. Глубина пикселей (разрядность представления) при этом составляет 8, 10 или 12 бит (свыше 12 бит для MISM-L14). При этом наивысший уровень сложности MISM-L14 отведен совокупности форматов несжатого видео (например, стандарта RAW):

- 1920×1080×60p (50p) с соотношением сторон 16:9;
- 2048×1080×48p с соотношением сторон кадра 1,896;

1998×1080×48p (кинематографический стандарт США 16,65:9 = 1,85 для 35-мм широкоэкранного фильма);

2048×858×48p с соотношением сторон кадра 2,39 и др.

Для передачи несжатого видеопотока MISM-L14 требуется пропускная способность 3–4 Гбит/с, доступная, например, в оптоволоконной транспортной среде систем с синхронной цифровой иерархией SONET уровня OC-96. Тем не менее, STANAG 4609 указывает, что уровень MISM-L14 охватывает системы формирования, обработки, управления, хранения, архивирования и распространения MI, предназначенные для решения задач сбора данных, разведки и наблюдения за полем боя.

Отметим, что предусмотренная в данной категории частота кадров 120 Гц – это не что-то абсолютно излишнее. Например, при наведении средств поражения на маневрирующие цели с борта ударного БПЛА с учетом его пространственных эволюций обычно требуется до 30 ко-

Таблица 4. Уровни сложности MI стандартного разрешения (0220d)

Уровень сложности	Применимый стандарт (не исключает другие варианты)	Разрешение по горизонтали, пикселей	Разрешение по вертикали, пикселей	Глубина пикселей, бит	Частота кадров, Гц	Коэффициент сжатия	Номинальная скорость канала передачи данных, Мбит/с	Диапазон скоростей передачи данных, Мбит/с	Возможная среда передачи (при номинальной скорости)
MISM-L5	ITU 601 SMPTE 259M (4:2:2)	720	480i–576i	8–10	24–60	0–2,5:1	270	270–360	SDI, OC-12
MISM-L4M	MPEG-2 MP@ML	720	480i–576i	8	24–30	5,5:1–10:1	15	10–20	Half to Full T3, TC DL, ATM
MISM-L4H	H.264 MP@L3	720	480i–576i	8	24–30	5,5–20:1	10	5–10	Half to Full T3, TC DL, ATM
MISM-L3M	MPEG-2 MP@ML	720	480i–576i	8	24–30	28:1	6	3–10	GBS, T2, ATM, DVD
MISM-L3H	H.264MP@L3	720	480i–576i	8	24–30	56:1	3	1,5–5	GBS, T2, ATM, DVD

**Таблица 5. Уровни сложности MI низкого разрешения (0220e, f)**

Уровень сложности	Применимый стандарт (не исключает другие варианты)	Разрешение по горизонтали, пикселей	Разрешение по вертикали, пикселей	Глубина пикселей, бит	Частота кадров, Гц	Коэффициент сжатия	Номинальная скорость канала передачи данных, Кбит/с	Диапазон скоростей передачи данных, Кбит/с	Возможная среда передачи (при номинальной скорости)
MISM-L2.2H	H.264 L2.2	640–720	480–576	8	24–30	110:1	1500	1024–1500	T1/ E1
MISM-L2.1H	H.264 L2.1	320–352	480–576	8	24–30	165:1	1000	768–1024	T1/E1
MISM-L2.1M	MPEG-2 MP@ML	320–352	480–576	8	24–30	110:1	1500	1024–1500	T1/E1
MISM-L2.0M	MPEG-1	320–352	240–288p	8	24–30	165:1	1000	768–1024	T1/E1
MISM-L1.3H	H.264 L1.3	320–352	240–288p	8	24–30	430:1	512	384	Partial T1/E1
MISM-L1.2H	H.264 L1.2	320–352	240–288p	8	12–15	650:1	256	192–384	RTP/RSTP, Wireless
MISM-L1.1H	H.264 L1.1	320–352	240–288p	8	6–7	1300:1	128	56–192	RTP/RSTP, Wireless
MISM-L1.0H	H.264 L1.0	160–176	120–144p	8	12–15	5200:1	32	< 56	RTP/RSTP, Wireless
MISM- L0	NSIF	720 -1920	480–1080	8, 10 или 12	1–2	10:1	256	56–512	Non Real Time, POTS, ISDN

манд управления в секунду. Поскольку для выдачи каждой команды управления необходимо обработать, как правило, не менее четырех кадров изображения цели, легко получить требуемую скорость потока 120 кадров в секунду.

Два других уровня категории EG 0220a описывают потоки, аналогичные MISM-L14, но в умеренно сжатом (MISM-L13) и сильно сжатом (MISM-L12) форматах. Они предназначены для обработки и транспортировки сигналов продвинутого HD-видео. Детальные характеристики уровней MISM-L12 и MISM-L13 будут уточняться в дальнейшем.

В категории EG 0220b (табл.2) глубина пикселей изображений высокой четкости ограничена 10 битами. Несжатый видеопоток HD-видео уровня MISM-L11 охватывает форматы с прогрессивной разверткой и соотношениями сторон кадра 16:9, их разрешение – 1920×1080×30p (25p, 24p) и 1280×720×60p (50p, 30p, 25p, 24p). Номинальная пропускная способность канала связи для передачи таких видеопотоков – 1,485 Гбит/с. До появления радиоканалов с такой пропускной способностью данный уровень сложности допустим лишь на начальных стадиях обработки сигналов, поступающих непосредственно с ПЗС-матриц видеосенсоров, либо в лазерных каналах спутниковой связи, проектируемых для стратосферных БПЛА.

Уровень MISM-L10, в зависимости от степени сжатия изображений, разбит на два подуровня. Именно верхний из них, MISM-L10M, является граничным для гарантированной совместимости оборудования стран НАТО. Он предполагает использование 8-битных пикселей с максимальным разрешением изображения 1920×1080×60p и средней степенью его сжатия от 5:1 до 10:1. Характерный пример такого рода видеопотоков – MPEG-2. Требуемая про-

пускная способность канала передачи данных составляет 34–100 Мбит/с. Таким образом, в странах НАТО взят курс на достижение полной совместимости каналов передачи видеоданных высокой четкости с пропускной способностью до 100 Мбит/с. Уже сегодня подобные радиолинии – не экзотика в вооруженных силах стран НАТО. Например, на выставке "TechDemo' 08" [2] демонстрировались возможности радиолинии передачи данных системы ARDS немецкой фирмы OHB System с пропускной способностью до 274 Мбит/с при удалении от наземного приемного пункта до 200 км, что позволяет передать с борта летательного аппарата Condor видеопотоки MISM-L10M одновременно от двух видеокамер формата Full HD.

Второй подуровень (MISM-L10H), благодаря 20-кратному сжатию, позволяет применять 10-разрядные пиксели. Для трансляции таких потоков достаточно каналов 50 Мбит/с, которые способна предоставить транспортная среда H.264 L4.1. Дальнейшее сжатие потока Full HD до 45:1 и 80:1 соответствует уровню MISM-L9. Подуровню MISM-L9H соответствует 8-разрядный формат пикселей и сжатие 80:1. Для передачи такого потока достаточно радиолинии с номинальной пропускной способностью всего 10 Мбит/с. Максимальная же пропускная способность в рамках MISM-L9H может быть повышена до 20 Мбит/с, что важно для применения стандартов DVB-T и H.264 L4.0.

Примерно в эти же рамки (10–25 Мбит/с) вписываются и требования по передаче видео повышенной четкости со сжатием 10:1 и максимальным разрешением 960×576×60p, соответствующие уровню MISM-L7M. Существенно, что несжатый видеопоток повышенной четкости MISM-L8 требует крайне высокой пропускной способности (135–540 Мбит/с).

Поскольку более низкие уровни сложности MISM (табл.3–5) характеризуют мало перспективные форматы изображений, рассматривать их столь же детально не имеет смысла. Отметим лишь, что переход к пропускной способности менее 1,5 Мбит/с соответствует узкополосным MI категории EG 220e (см. табл.5) на подуровне MISM-L2.2H. Такая пропускная способность требуется для 8-битного видео с максимальным разрешением 720×576, частотой кадров 30 Гц и степенью сжатия изображений 110:1.

Минимальные требования к пропускной способности определяются уровнем 32 Кбит/с (MISM-L1.0H) и соответствуют архаичным по качеству MI с максимальным разрешением 176×144р, частотой смены кадров 12–15 Гц и степенью сжатия 5200:1.

Наконец, самый нижний уровень сложности MISM-L0, как ни странно, вновь возвращается к разрешению 1920×1080 и 12-разрядному представлению пикселей. При этом за счет сжатия 10:1 и скорости обновления изображений всего один или два кадра в секунду требуемая пропускная способность ограничивается 56–512 Кбит/с.

СТАНДАРТЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Документ AEDP-8 описывает требования к форматам изображений и каналам передачи данных, а также связанные с MI метаданные, сопровождающие любой информационный поток с борта БПЛА. Однако собственно формат передачи потоков данных с борта БПЛА регламентирован в стандарте STANAG 7023 и руководстве AEDP-9 [3]. Без этих нормативных документов невозможно строго оценить фактические требования к пропускной способности каналов связи с БПЛА, пос-

кольку передача собственно изображений должна сопровождаться обязательной служебной информацией, отвлекающей на себя часть транспортного ресурса радиолинии.

Стандарт STANAG 7023 определяет два класса данных: сенсорные и вспомогательные. Сенсорные данные поступают от сенсоров, формирующих видеоизображения (радары с синтезированной апертурой, инфракрасные и телевизионные фотокамеры и т.д.). Стандарт предусматривает передачу цифровой информации максимум с 64 бортовых сенсоров, формирующих изображения. Эти видеопотоки сопровождаются вспомогательными данными, в которых содержится информация о формате видеоданных, алгоритмах их обработки и т.п. Кроме того, могут передаваться данные, формируемые другими бортовыми датчиками – навигационным оборудованием, бортовыми системами управления, включая систему управления видеосенсорами, навигационно-пилотажный комплекс и т.д. Всего на борту может быть 256 различных источников данных.

Все данные (сенсорные и вспомогательные) передаются в виде отдельных файлов. Каждый файл имеет свой уникальный заголовок, содержащий адрес источника (1 байт, 256 различных адресов) и адрес получателя (4 байта). Эти 5 байт, по сути, определяют 2⁴⁰ различных типов файлов. В случае сенсорных данных формат файлов определяется в связанных с ними файлах вспомогательных данных.

Все данные передаются по радиолинии пакетами (рис.1). Пакет включает синхронизирующую последовательность (10 байт), заголовок (32 байта) и собственно файл данных (до 4 Гбайт). Пакет защищается контрольной суммой CRC – обязательно для заголовка и опционально для файла данных. Заголовок определяет длину файла данных, адрес источника и адрес получателя, а также ряд дополнительных параметров, таких как наличие CRC файла данных. Адрес источника однозначно указывает на тип данных – данные о миссии, данные о цели, телеметрия платформы, параметры сенсоров, данные от сенсоров и т.п. Если приемник не смог получить или правильно декодировать пакет, он может быть отправлен повторно, с тем же самым заголовком.

Пакеты объединяются в сегменты (рис.2), а те, в свою очередь, – в так называемые записи (Records). В отдельных сегментах пакеты следуют непосредственно друг за другом, без каких-либо разделителей. Сами сегменты, помимо пакетов данных, могут содержать преамбулы, постамбулы и маркеры конца сегментов. Отдельный сегмент, как правило, связан с активностью отдельных групп сенсоров по ходу миссии. Обычно на протяжении сегмента активен как минимум один сенсор.

Последовательность сегментов образует запись. В терминологии стандарта STANAG 7023 запись – это последовательность сегментов по ходу выполнения миссии. В принципе, стандарт допускает наличие нескольких запи-

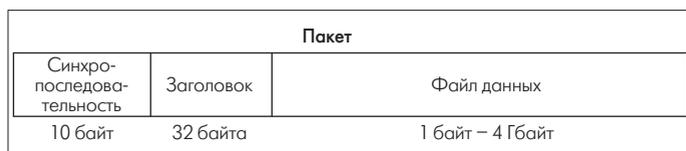


Рис. 1. Структура пакета данных [3]

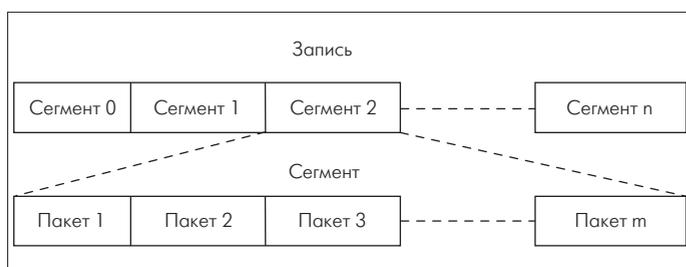


Рис. 2. Логическая структура канала



Рис. 3. Структура записи [3] (без маркеров конца сегмента и записи)



сей (т.е. несколько независимых потоков данных), но в существующей на сегодня четвертой редакции описывается только работа с одной записью. Структура записи включает преамбулу и набор сегментов, разделенных оконечными маркерами (постамбулами) (рис.3). Запись завершается маркером конца записи. Начальный, нулевой сегмент записи – всегда преамбула.

Преамбула – это набор вспомогательных данных, предшествующих первому информационному сегменту и позволяющих наземной станции обработать последующий поток информационных пакетов. Например, в преамбуле может содержаться информация о цели, деталях миссии, режиме работы сенсоров (тип, формат, способ кодирования и т.п.). Как правило, преамбула предшествует началу выполнения задания (миссии).

Постамбула – это набор вспомогательных файлов после сегмента данных. Он может содержать повторение преамбулы, индексированные файлы с данными – интервалы работы сенсоров, таблицы событий, навигационная информация и т.п. Данные постамбулы должны быть достаточными для определения положения и типа целей, режимов работы сенсоров и т.п. в связке с предшествующим потоком видеоданных (сенсорных данных). Наличие постамбулы в сегменте не обязательно.

В целом, анализ структуры пакетов данных, используемых в радиоперехватах НАТО для связи с БПЛА, позволяет сделать вывод, что при покадровой передаче изображений высокой или повышенной четкости наличие вспомогательных метаданных ничтожно мало влияет на требования к пропускной способности радиоперехвата. Размещение же на борту БПЛА накопителей информации емкостью более 4 Гбайт позволяет максимально использовать ресурсы стандартного формата записи для минимизации и без того малых затрат на передачу служебной информации. При этом, однако, следует искать компромисс между числом и длительностью сегментов в записях, а также необходимостью снижать вероятность искажения информации в процессе передачи за счет воздействия активных помех. Вполне очевидно, что в зависимости от складывающейся помеховой обстановки параметры структурных элементов записи могут адаптивно изменяться.

Стандарт STANAG 7023, как особо указано в этом документе, сам по себе не является телекоммуникационным протоколом. Он используется в связке с другими стандартами НАТО, описывающими форматы и протоколы передачи данных.

В числе открытых стандартов НАТО, регламентирующих передачу данных с беспилотных авиационных платформ, укажем стандарт **STANAG 4607/ AEDP-7** [4]. В нем определены содержание и формат данных, получаемых с радаров обнаружения движущихся целей на фоне земной по-

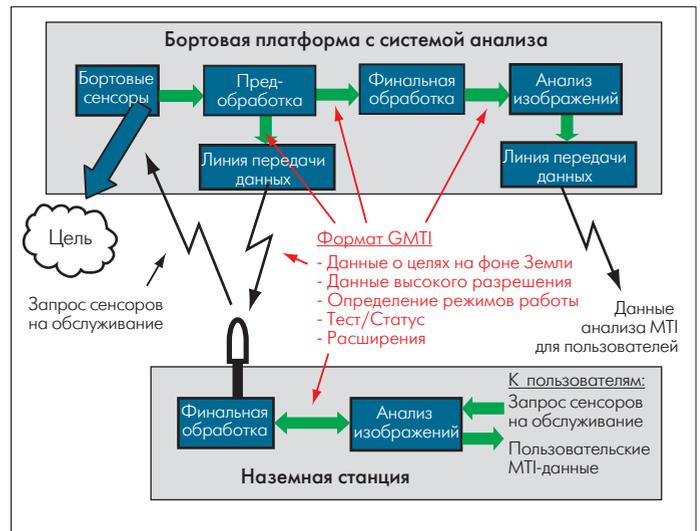


Рис.4. Возможные варианты передачи данных о целях, движущихся на фоне земной поверхности [4]

верхности (GMTI – Ground Moving Target Indicator). В зависимости от пропускной способности каналов связи описанный в стандарте формат GMTI позволяет передать только информацию о движущихся целях либо еще и сопутствующие радиолокационные изображения с высокой разрешающей способностью (рис.4). Данные транслируются пакетами размером 65535 байт, что позволяет передать информацию о 80 отметках целей и их траекториях, сопровождаемых с высоким разрешением по дальности, или о 4300 целях и их трассах, сопровождаемых в обычном режиме.

Требования к радиоперехватам связи с БПЛА, совместимым с тактическими средствами Common Data Link (CDL)/Tactical Common Data Link (TCDL), изложены в закрытом стандарте НАТО **STANAG 7085** [5]. Другой стандарт, **STANAG 4660**, регламентирует все аспекты высокозащищенного канала обмена данными для БПЛА IC²DL (Interoperable Command and Control Data Link). Этот канал описывает передачу на землю (downlink) оперативных данных (телеметрии), а на борт

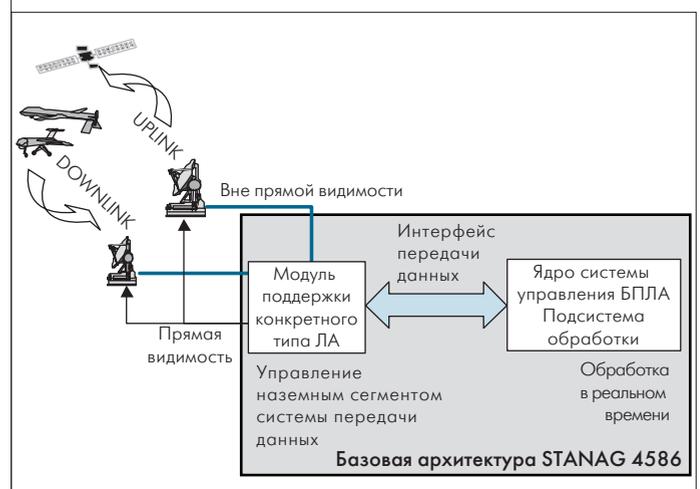


Рис.5. Базовая архитектура STANAG 4586.

Пример использования спутникового канала для связи с БПЛА

(uplink) – команд управления платформой и оборудованием. В документе характеризуются частоты, ширина полосы сигналов, расстояние между пунктами приема-передачи информации, скорость передачи и ряд других специфических параметров. Проект стандарта находится на стадии завершения, однако в нем остались несогласованные позиции, требующие доработки. Большинство из них связаны с проблемой доступности частотного ресурса. Ситуацию усложняет ожидаемое в ближайшие годы внедрение большого числа новых типов БПЛА, оборудованных датчиками с высокой разрешающей способностью. В результате вырастут требования к ширине полосы частот и скорости передачи данных.

Ключевым документом для стран Альянса в обеспечении совместимости БПЛА и наземных пунктов управления (Ground Control Station) стал стандарт **STANAG 4586**. Он принят уже во второй редакции и формулирует требования к форматам данных и к протоколам обмена, определяя один из пяти возможных уровней совместимости летательного аппарата и пункта управления. Огромный положительный эффект от внедрения этого стандарта – отсутствие необходимости разрабатывать отдельные пункты управления для каждого типа БПЛА. Задача решается, в том числе, введением в комплект аппаратуры наземной станции специального модуля поддержки конкретного типа летательного аппарата (VSM – Vehicle Specific Module) (рис.5). Обеспечение совместимости также положительно повлияло на повышение конкуренции в сфере STANAG-совместимого оборудования и на снижение затрат на разработку. В 2008 году завершилась работа над третьей редакцией STANAG 4586, которая проходит ратификацию. Основные усовершенствования STANAG 4586 связаны с уточнением (сужением) полосы частот и использованием новых технологических достижений в области интерфейсов для обмена данными.

Что касается методов радиосвязи с БПЛА, то в случае применения тактических БПЛА, радиус действия которых составляет десятки километров, предпочтительным выбором, согласно концепциям зарубежных специалистов, является связь по принципу прямых (радиорелейных) линий связи в диапазоне дециметровых волн. При этом на центре управления БПЛА следует использовать средненаправленные антенны, ориентированные в направлении БПЛА. Для организации связи с БПЛА на стратегическом уровне при отсутствии прямой видимости целесообразно применять спутниковые линии связи, например, по схеме на рис.5. Как вариант, возможна организация канала связи на основе ретрансляторов на БПЛА, а также ионосферного распространения радиоволн. Однако здесь вероятны трудности с выбором антенных устройств в диапазоне дециметровых волн для размещения на БПЛА. Тем не менее, такой вариант не сле-

дует исключать, поскольку, как известно, дальность ионосферной связи достигает сотен километров.

КРАТКИЕ ИТОГИ

Подытоживая сказанное, отметим, что при разработке радиолиний связи с БПЛА следует опираться на требования доступных стандартов НАТО, в которых аккумулирован лучший мировой опыт в соответствующей области. Учитывая это, для формирования видеоизображений на борту БПЛА целесообразно использовать видеокамеры высокой четкости с прогрессивной разверткой и квадратными пикселями. Причем лучший выбор – камеры с разрешением Full HD 1920×1080×(50p) 60p или 1920×1080×(24p) 30p. Для минимизации требований к пропускной способности канала связи необходимо сжимать видеоинформацию, а при выборе качества изображений опираться на параметры указанных в STANAG 4609 уровней MISM-L10M – MISM-L9H. Соответственно, для передачи таких видеопотоков с разрешением 1920×1080×(24p) 30p понадобится минимальная пропускная способность 20 Мбит/с для одного источника сигнала.

Как более простой вариант, можно рассматривать формат видео с разрешением 1280×720×(50p) 60p, что позволяет при сжатии изображений (согласно уровню MISM-L9H) обойтись пропускной способностью 5 Мбит/с. Что касается требований к безошибочной передаче данных, то для изображений 1920×1080 целесообразно ограничить уровень искажений данных величиной одного пиксельного артефакта на кадр. Это соответствует вероятности ошибки на уровне 10^{-7} – 10^{-6} .

Основная проблема при реализации каналов связи с БПЛА – ограничение частотного ресурса при росте требований к скорости передачи данных. Поэтому необходимы новые методы минимизации потребной полосы частот или совместного использования единой полосы различными БПЛА.

Продолжение следует

ЛИТЕРАТУРА

1. STANAG 4609/AEDP-8. NATO Digital Motion Imagery Format. – www.nato.int/structur/AC/224/standard/4609/4609.htm.
2. **Слюсар В.** Электроника в борьбе с терроризмом: защита гаваней. Часть 1. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2009, № 5, с.68–73.
3. STANAG 7023/AEDP-9 NATO Primary Image Format. – www.nato.int/structur/AC/224/standard/7023/7023.htm.
4. STANAG 4607/AEDP-7. NATO Ground Moving Target Indicator Format. (GMTIF). – www.nato.int/structur/AC/224/standard/4607/4607.htm.
5. STANAG 7085. Interoperable Data Links for Imaging Systems.