

УДК 621.398

Автоматизация приёма и обработки телеметрической информации для малых космических аппаратов, использующих резервный канал связи

*Матюшин М.М., к. т. н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Динамика и управление полётом ракет и космических аппаратов»*

*Ремень Б.А., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Динамика и управление полётом ракет и космических аппаратов»*

*Гришко Д.А., Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Динамика и управление полётом ракет и космических аппаратов»*

*Топорков А.Г., Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Динамика и управление полётом ракет и космических аппаратов»
kafsm3@sm.bmstu.ru*

В последнее десятилетие существенно возросло количество функционирующих на околоземных орбитах малых космических аппаратов (МКА), что обусловлено относительно малой стоимостью их изготовления и быстрым развитием электроники. Даже так называемые «кубсаты», представляющие собой куб с ребром 10 сантиметров, способны успешно конкурировать с более габаритными космическими аппаратами, решая точечные научные задачи, обеспечивая получение навыков работы с МКА в университетской среде. Центр управления полётами МКА МГТУ им. Н.Э. Баумана (ЦУП-Б) осуществляет слежение, приём и обработку телеметрической информации (ТМИ) с нескольких МКА, передающих данные в радиоловительском диапазоне частот 435-437 МГц. Приём и обработка ТМИ с этих МКА рассматривались изначально в качестве тренировок для получения необходимого опыта управления собственными МКА «Бауманец» и «Бауманец-2». Вместе с тем, за время работы с данными аппаратами было выявлено несколько ключевых моментов, с которыми ЦУП-Б неизбежно столкнётся после запуска собственного спутника, самым важным из которых является низкая скорость обработки ТМИ с таких МКА при определённых режимах передачи информации с борта на Землю. Следовательно, основной задачей представляется повышение быстроты обработки ТМИ и высвобождение времени под оперативный анализ полученных данных[3].

Особенностью многих зарубежных МКА является передача данных по каналу борт-Земля вне зоны основного приёма в однополосной (SSB) модуляции, при которой сигнал передаётся в виде кода Морзе (CW-сигнал). В случае отечественных МКА этот тип передачи часто используется в качестве резервного канала связи, который хотя и уступает основному – частотно-модулированному (FM) – сигналу по информативности, но при этом обладает важными преимуществами, главным из которых является выигрыш в мощности полезного излучаемого сигнала. При SSB модуляции несущая частота и одна из боковых полос сигнала не излучаются[2], что позволяет всю располагаемую мощность излучать в виде одной боковой полосы. Мощность сигнала, используемая для передачи полезной информации, при AM - и FM модуляциях составляет в лучшем случае 1,25 Вт, а при использовании SSB модуляции – все 10 Вт. Таким образом, при приёме SSB-модулированного сигнала передатчика с пиковой мощностью 10 Вт слышимость будет такой же, как при приёме AM-модулированного сигнала с передатчика с мощностью 80 Вт, что даёт выигрыш по мощности в 8 раз. Однако преимущества SSB модуляции не ограничиваются только этим[2]. AM и FM станции поддерживают мощность несущей постоянно, независимо от того, посылается ли полезный сигнал или нет. SSB станции не тратят никакой энергии в паузах между сигналами. Кроме экономии энергии и облегчения режима работы выходного каскада передатчика это даёт дополнительные преимущества при работе в перегруженном станциями канале. При использовании AM или FM модуляций включение более мощной станции полностью подавляет более слабую, делая приём с неё невозможным, при использовании SSB модуляции в паузах между сигналами мощной станции работу слабой станции можно услышать, при этом удаётся не только следить за МКА, но и улавливать смысл сообщения[4]. Если уровень мощности сигналов с создающих помехи станций не сильно превышает уровень мощности принимаемого сигнала, и частоты всех станций точно совпадают, всё равно возможно воспринимать бóльшую часть информации с желаемой станции, подобно тому, как люди понимают друг друга при разговоре в окружении говорящих людей. Все перечисленные преимущества SSB модуляции позволяют при прочих равных условиях получить дальность связи на 50-75% больше, чем при AM или FM. Поэтому SSB модуляция наилучшим образом подходит для резервных каналов связи, её применение полностью оправдано в случае возникновения нештатных ситуаций с системами энергоснабжения КА или для маломощных студенческих аппаратов, таких как «кубсаты».

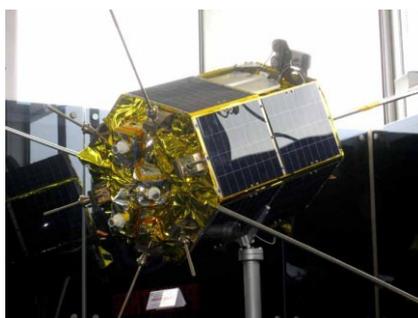


Рис. 1. МКА «Юбилейный» (Россия)

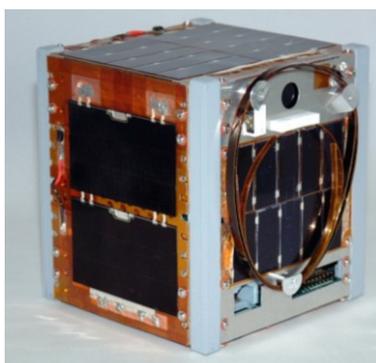


Рис. 2. Cubesat XI-V (Япония)

Рассмотрим принципиальную структурную схему приёма и обработки телеметрической информации с МКА в ЦУП-Б (рис.3). Используя содержащуюся в TLE-файлах информацию, управляющий компьютер производит расчёт текущих координат КА, передавая на контроллер ориентации антенн необходимые целеуказания: значения азимута и угла места, а на трансивер – частоту приёма с учетом эффекта Доплера. Радиосигнал, полученный со спутника, преобразуется в трансивере в звуковой и поступает на звуковую карту управляющего компьютера, где может быть записан и обработан. В блоке обработки и декодирования ТМИ звуковой СВ-сигнал преобразуется в текстовую последовательность точек и тире, а затем эта последовательность переводится в литеры латинского алфавита, комбинации которых представляют собой зашифрованную ТМИ. И наконец, с использованием дешифратора ТМИ (для каждого аппарата он свой), производится декодирование и на выходе получают показания приборов КА на данный момент времени.



Рис. 3. Принципиальная структурная схема приема и обработки ТМИ в ЦУП-Б

Прием CW-сигнала в SSB модуляции сильно осложняется следующими факторами: восприятием сигнала оператором «на слух»[5] при ощутимой зашумлённости внешнего радифона в условиях г. Москвы и, как следствие, необходимостью декодирования полученного сигнала в ручном режиме, а также необходимостью точной подстройки частоты, чтобы добиться наилучшей разборчивости принимаемого сигнала, и ручным режимом сопровождения КА. На рис.4 приведена структурная схема приема и обработки ТМИ в ручном режиме. В этом режиме оператор выступает в качестве активного функционального звена. В момент приёма ТМИ он одновременно осуществляет слежение за наблюдаемым КА и постоянную коррекцию частоты приёма сигнала. После окончания приёма оператор должен прослушать записанный сигнал в звуковом формате и на слух воспринять телеграфный код и расшифровать его, что требует от оператора владения навыками телеграфирования и повышенного внимания[1]. На этом шаге обработки, ввиду человеческого фактора и непрофессиональной подготовки, возможно появление большого количества ошибок, что скажется в дальнейшем при дешифровании полученных данных.

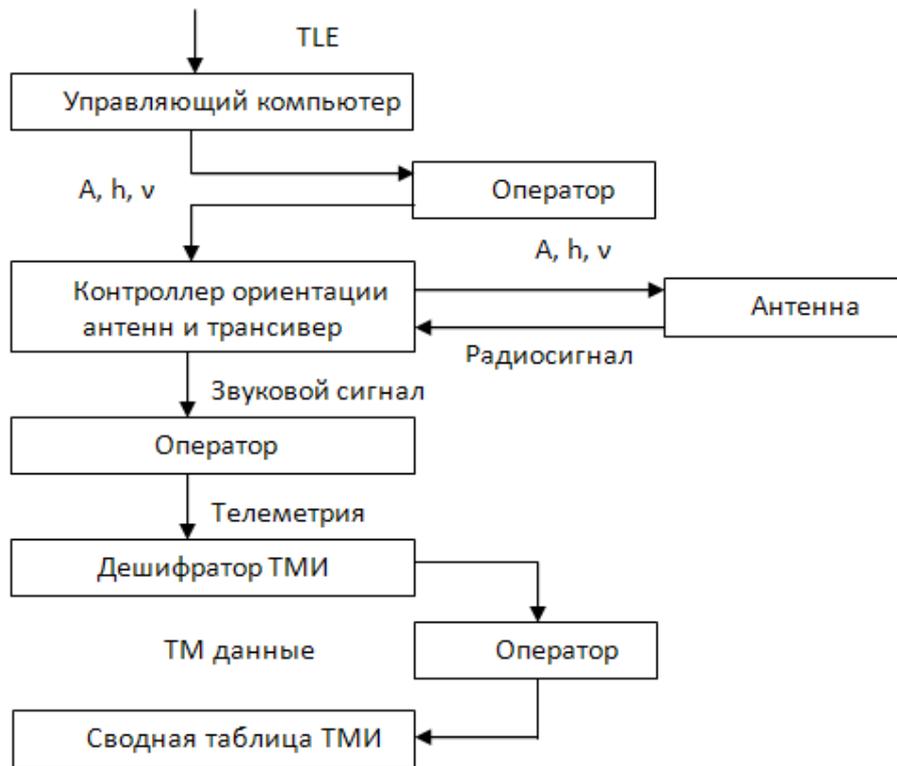


Рис. 4. Структурная схема приёма и обработки ТМИ в ручном режиме

С учётом вышесказанного, полезным оказывается использование программного обеспечения (ПО), позволяющего визуализировать принимаемый сигнал в виде амплитудно-частотного спектра (рис.5). В ЦУП-Б для этой цели используется свободное ПО Spectrogram 16.exe. Подобное ПО удачно подходит для визуального контроля качества настройки частоты и принимаемого сигнала, а также для записи приёма с целью последующей обработки. Этим снимается требование к оператору иметь специальную подготовку для записи сигнала «на слух», тем самым исключаются ошибки при записи сигнала. Тем не менее, для декодирования записанного сигнала требуется от 15 до 20 минут, что занимает по времени 1/3 среднего периода обращения многих МКА, снижая оперативность управления в случае нештатных ситуаций[3].

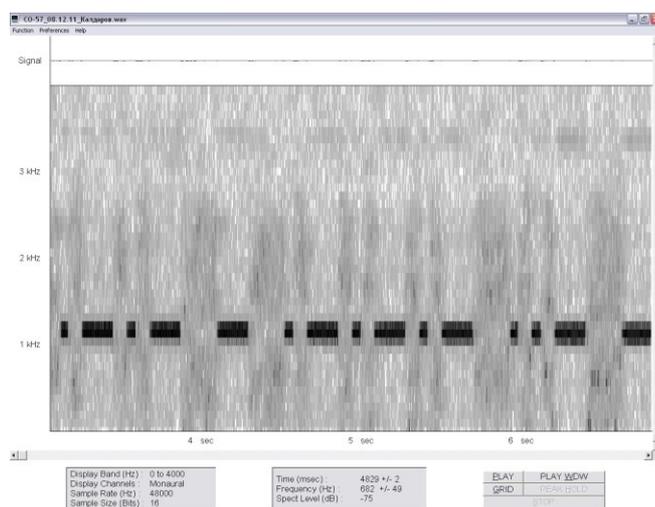


Рис. 5. Амплитудно-частотный спектр CW-сигнала в программе Spectrogram 16

С целью автоматизации процесса декодирования был разработан программный продукт (ПП) MorseSignalDecoder.exe (рис.6), осуществляющий распознавание и декодирование принятого CW-сигнала с наблюдаемого КА. Входной информацией являются wav-файл (содержащий запись принятого сигнала), длительность точки и тире для данного КА и отношение амплитуды среза (уровень мощности сигнала, ниже которого он принимается за шум) к максимальной амплитуде сигнала (в данном приёме). Выходная информация есть декодированный сигнал в текстовом виде, который используется как входная информация для дешифраторов телеметрии. Работа программы происходит в три этапа: загрузка файла, распознавание сигнала и декодирование. Распознавание сигнала заключается в переводе радиосигнала Морзе в текстовую последовательность точек и тире. Декодирование состоит в переводе последовательности точек и тире в зашифрованные телеметрические кадры на латинице. Результат декодирования можно сохранить в текстовый файл. Получаемый сигнал нередко бывает прерывистым, ввиду большой радио зашумленности. Поэтому в программу был включен элемент графического представления файла целиком, каждого телеметрического кадра в отдельности и по мере необходимости любой части сеанса. В случае выявления участков некорректного распознавания сигнала возможен ручной ввод точек и тире. При использовании данного программного продукта длительность получения расшифрованной телеметрии после приема CW-сигнала сокращается примерно в 5 раз, что увеличивает время для анализа возможной нештатной ситуации и принятия необходимого решения для её устранения.

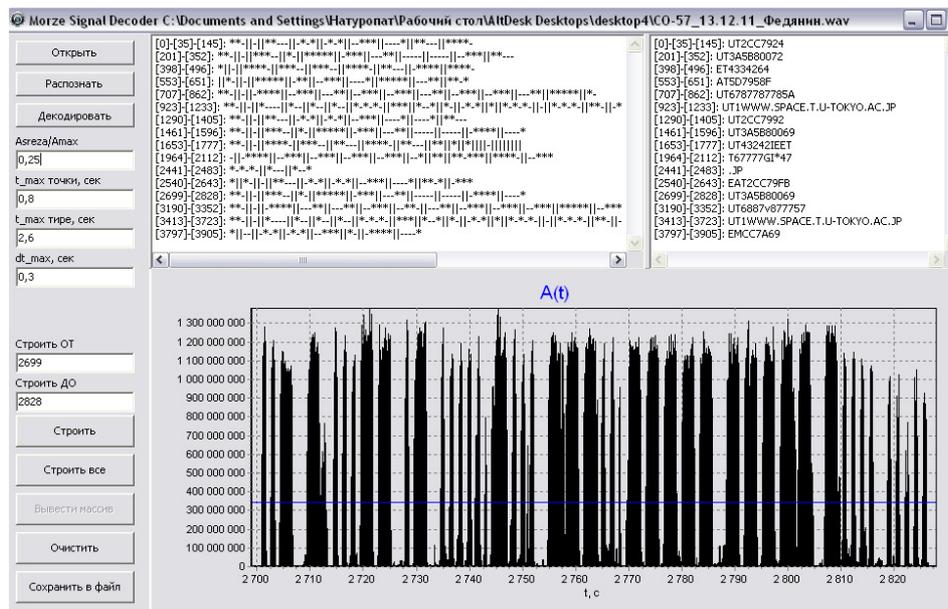


Рис. 6. Вид главного окна ПП MorseSignalDecoder.exe

Для корректной работы созданного продукта необходимо наличие устойчивого по частоте сигнала с минимальной зашумлённостью. В процессе сеанса связи из-за доплеровского смещения частоты происходит заметное сползание графика сигнала (а при недостаточном опыте оператора даже скачки), которое устраняется автоматическим сопровождением КА антенной системой по обновляемым орбитальным данным (при условии точной синхронизации времени) и автоматической подстройкой частоты, что реализовано в используемом комплексе управления МКА NavWin-Навигатор v.5.2 производства НИЛАКТ г. Калуги. Внешний фон эффективно нейтрализуется при помощи программы Cool Edit Pro, позволяющей увеличивать амплитуду в случае, если уровень поступившего сигнала достаточно слабый, а также точно определять длительности точки и тире, которые различны для каждого МКА.

В результате длительность обработки рассматриваемого типа ТМИ при использовании предложенных алгоритмов может быть сокращена до 5 минут, при этом существенно снижаются требования к внимательности оператора и его утомляемость. Ниже приводится структурная схема приема и обработки ТМИ в полуавтоматическом режиме (рис.7), где оператор уже выступает в качестве ретранслятора, обеспечивающего переход информации между блоками.

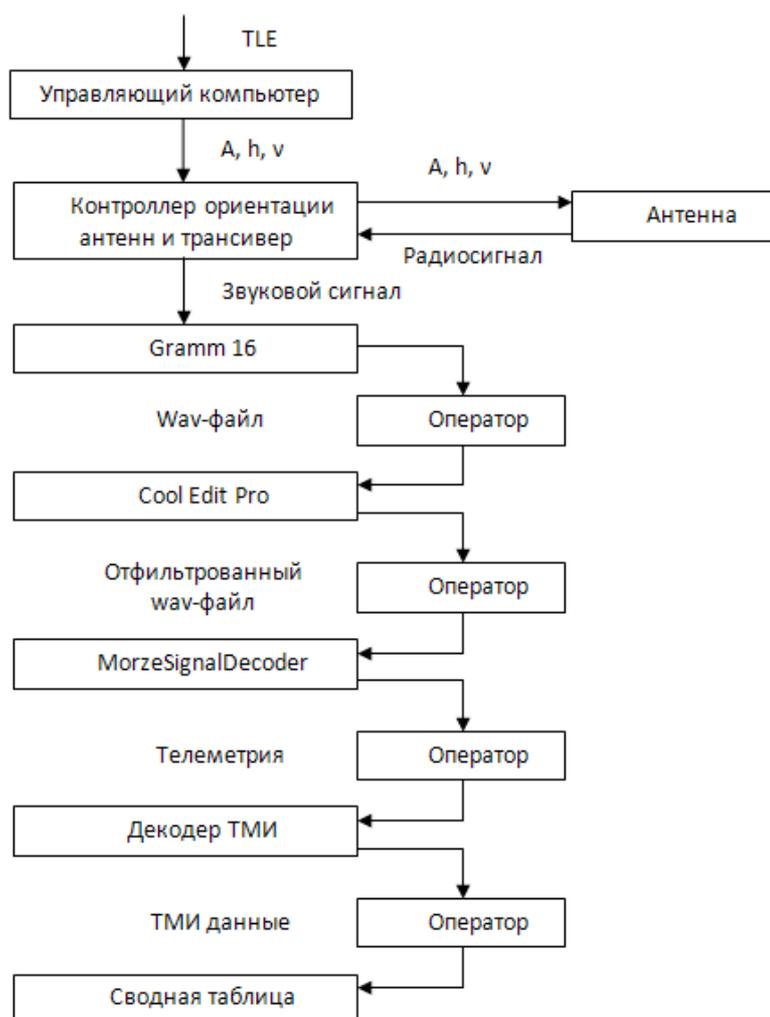


Рис. 7. Структурная схема приема и обработки телеметрии в полуавтоматическом режиме

Несмотря на проделанную работу, оператор все еще остается важным звеном в цепи приема и обработки ТМИ. Чтобы процесс происходил автоматически в режиме реального времени, и возможность возникновения ошибки была минимальной, необходимо свести роль оператора до уровня наблюдателя. Так как NavWin-Навигатор уже сейчас обеспечивает полностью автоматическое слежение за КА и управлением частотой приема, то задача сводится к объединению функций, выполняемых программами Spectrogramm.exe, Cool Edit Pro, MorzeSignalDecoder.exe и декодеров ТМИ, в одной программе, а также создание базы данных ТМИ по каждому КА. Например, чтобы уйти от использования стороннего ПО Cool Edit Pro и свести роль зашумленности радио фона к минимуму можно воспользоваться быстрым преобразованием Фурье для разложения полученного сигнала на частоты и работать только с той частотой, по которой осуществляется прием. На рис.8 приведена перспективная схема приема и обработки ТМИ в автоматическом режиме. Такая схема работы позволит выйти на качественно

новый уровень работы с МКА, использующие телеграфный код и даст возможность работать с большим количеством аппаратов.

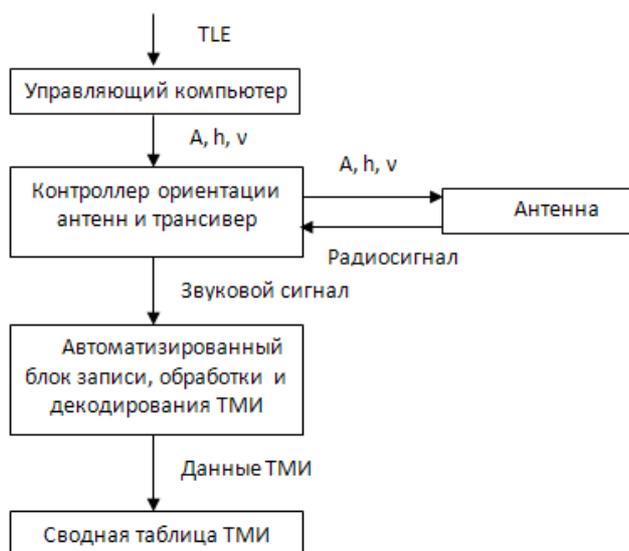


Рис. 8. Структурная схема приема и обработки ТМИ в автоматическом режиме

В заключение хотелось бы отметить, что созданный программный продукт является уникальным, так как в свободном доступе никаких подобных средств автоматического декодирования не представлено, а существующие аналоги не подходят для решения конкретных задач, так как не являются универсальными. На данный момент с использованием разработанного ПП время обработки ТМИ и участие оператора сведены к разумному минимуму. В перспективе можно попытаться объединить фильтрацию сигнала и его декодирование в созданном ПП в единый замкнутый контур, что позволит сделать цепь Приём ТМИ – Фильтрация шумов – Декодирование, – полностью автоматической.

Список литературы

1. Азбука Морзе // ВинРадиоФорум: <http://hamradio.mybb.ru/viewtopic.php?id=977> (дата обращения: 04.03.2013г.).
2. Виды модуляции в радиосвязи: URL.<http://vector-radio.ru/vidyi-modulyatsii-v-radiosvyazi.html> (дата обращения: 04.03.2013г.).
3. Ильин В.А. Телеуправление и телеизмерение. М., 1982
4. Преимущества однополосной модуляции SSB. URL. <http://radiovolna.nn.ru/preimuschestva/> (дата обращения: 04.03.2013г.).
5. Учим телеграф дома. URL.http://gosh-radist.blogspot.com/p/blog-page_25.html (дата обращения: 04.03.2013г.).