

Разработка программы анализа данных для систем лазерной связи и беззапросных измерений дальности

Development of a data analysis program for laser communication systems and unsolicited range measurements

УДК 004

Получено: 17.07.2025

Одобрено: 20.08.2025

Опубликовано: 25.09.2025

Гуриков С.Р.

Канд. пед. наук, доцент кафедры «Информационные технологии и вычислительные системы» ФГАОУ ВО «Московского государственного технологического университета «СТАНКИН», г. Москва
e-mail: srgurikov@mail.ru

Gurikov S.R.

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Computing Systems, Moscow State Technological University "STANKIN", Moscow
e-mail: srgurikov@mail.ru

Андреева Е.В.

Студентка, Ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Москва
e-mail: catherine58@yandex.ru

Andreeva E.V.

Student, Order of the Red Banner of Labor Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow
e-mail: catherine58@yandex.ru

Аннотация

Объектом исследования является процесс обработки и анализа телеметрических данных, поступающих с космических аппаратов в составе систем лазерной связи и беззапросных измерений дальности. Данные регистрируются на борту спутника специализированной аппаратурой и передаются на наземный сегмент в виде бинарных логов, подлежащих последующей декодировке, проверке и визуализации. В контексте работы рассматриваются данные, формируемые и передаваемые системой ББКос (бортовая беззапросная квантово-оптическая система), которая функционирует в составе комплекса БАУС (бортовая аппаратура угломерной системы). Совместно эти устройства обеспечивают фиксацию пространственно-временных характеристик квантово-оптических измерений дальности, которые в дальнейшем используются для навигации, синхронизации и оценки точности траекторных параметров космического аппарата.

Ключевые слова: телеметрические данные, формат .bbkos, квантово-оптическая система, массив измерений, спутниковая телеметрия.

Abstract

The study focuses on the processing and analysis of telemetry data received from spacecraft as part of laser communication systems and unsolicited range measurements. The data is recorded on board the satellite by specialized equipment and transmitted to the ground segment in the form of binary logs, which are subject to subsequent decoding, verification and visualization. In the context of the work, the data generated and transmitted by the BBKOS system (on-board query-free quantum optical system), which operates as part of the BAUS complex (on-board equipment of the angle measuring system), is considered. Together, these devices capture the space-time characteristics of quantum optical range measurements, which are later used for navigation, synchronization, and evaluation of the accuracy of spacecraft trajectory parameters.

Keywords: telemetry data, format .bbkos, quantum optical system, measurement array, satellite telemetry.

АО «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения» (НПК «СПП») является ведущей организацией в области разработки и производства прецизионных приборов и систем для различных отраслей промышленности. Основная сфера деятельности корпорации включает проектирование, изготовление и тестирование высокоточных измерительных приборов и электронных систем, применяемых в авиации, космонавтике, оборонной и медицинской промышленности.

Одним из направлений деятельности организации является разработка и сопровождение средств дистанционного сбора и последующего анализа телеметрических данных, поступающих с космических аппаратов. Телеметрической информацией называются сведения, поступающие с борта на наземный комплекс управления [4]. В рамках данной области применяются различные системы, включая бортовую беззапросную квантово-оптическую систему (ББКос), предназначенную для регистрации и передачи результатов измерения дальности. ББКос функционирует в составе бортовой аппаратуры угломерной системы (БАУС), которая обеспечивает пространственную привязку и временную синхронизацию получаемых данных. Информация, регистрируемая этими системами, объединяется в более крупные структурные единицы — массивы результатов измерений (МРИ), содержащие как служебные, так и измерительные данные. Следует отметить, что необработанные телеметрические данные, полученные со спутника, нельзя использовать напрямую. В отличие от других наборов данных, спутниковые телеметрические данные содержат шум, пропущенные значения, незначительные выбросы и т.д. Это связано с особенностями спутниковой телеметрии, такими как ограниченная видимость спутника для наземной станции, во время которой необходимо загружать данные [2].

В рассматриваемом случае файлы с результатами измерений поступают на землю в виде бинарных файлов с расширением .bbkos. Эти файлы представляют собой лог-файлы, содержащие последовательности телеметрических записей ББКос, сгруппированных в пакеты БАУС, а затем в блоки МРИ. Однако из-за особенностей передачи данных через радиоканалы в такие файлы могут попадать лишние или искаженные строки, дубликаты и другие ошибки, что делает невозможным прямое использование полученной информации без предварительной обработки и проверки на целостность.

Таким образом, актуальность разработки была обусловлена необходимостью надежной и быстрой обработки большого объема спутниковых телеметрических данных, поступающих в необработанном виде и содержащих потенциально поврежденные или неинформативные участки. Была выдвинута гипотеза, заключающаяся в том, что повышение степени автоматизации вышеупомянутых процессов позволит сократить трудозатраты, исключить влияние человеческого фактора при анализе информации и обеспечить полноту и достоверность получаемых результатов.

Цель исследования: разработка полнофункционального программного инструмента, позволяющего автоматически обрабатывать файлы формата .bbkos, извлекать из них корректные блоки данных, проверять их целостность, выполнять полную расшифровку

результатов квантово-оптических измерений, что, в конечном итоге, обеспечит автоматизированную обработку телеметрических данных.

Перечислим основные задачи, которые было необходимо решить для достижения поставленной цели:

- 1) Выполнить реализацию алгоритмов фильтрации и группировки строк ББКOC в составные элементы (пакеты БАУС и блоки МПИ).
- 2) Осуществить проверку целостности данных с использованием алгоритма CRC-16 для строк и CRC-32 для блоков.
- 3) Разработать функции расшифровки заголовка блока МПИ в соответствии с документацией.
- 4) Обеспечить автоматическую генерацию отчета в формате программы Microsoft Excel, который содержал бы результаты анализа, графики целостности данных, а также итоговую статистику.

В процессе реализации программного обеспечения для автоматизированной обработки телеметрических данных [3] было проведено обоснование выбора инструментальных средств, обеспечивающих надежную работу с бинарными структурами, проверку целостности, расшифровку данных и формирование отчетной документации. Основным языком программирования выбран Python по следующим причинам:

- обладает наличием широкого спектра встроенных и сторонних библиотек для работы с бинарными файлами, массивами и структурами данных [1];
- содержит поддержку модульной архитектуры и высокоуровневой абстракции, упрощающей реализацию алгоритмов;
- присутствует наличие документации по использованию библиотек для инженерных и научных задач.

Для работы с табличными данными и подготовки отчетной документации в формате .xlsx были использованы специализированные библиотеки:

- pandas — для представления структурированных данных в виде датафреймов, выполнения агрегатных операций, статистического анализа, сортировки и экспорта таблиц;
- orepnuxl — для программного создания и форматирования Excel-документов, включая стилизацию ячеек, построение графиков, автоматическую установку ширины колонок и работу с несколькими листами.

Для взаимодействия с пользователем при выборе входных и выходных файлов использовалась стандартная библиотека *tkinter*, что позволило реализовать удобный графический интерфейс без использования внешних зависимостей.

Реализация проверки контрольных сумм потребовала применения:

- библиотеки *zlib* — для вычисления контрольных сумм CRC-32, необходимых для валидации блоков МПИ;
- встроенного модуля *struct* — для преобразования байтовых последовательностей в числовые значения и обратно, при интерпретации полей заголовков и результатов измерений;
- стандартного модуля *datetime* — для обработки бортового времени и преобразования его в необходимый формат;
- модуля *collections* — для подсчета повторяющихся строк и формирования статистики по структуре входного файла.

Алгоритм CRC-16 для строк ББКOC был реализован в соответствии с технической спецификацией (алгоритм CRC-16-IBM с параметрами: Init = 0xFFFF, Poly = 0x8005, RefIn = True, RefOut = True, XorOut = 0x0000), что обеспечило полную совместимость с требованиями предприятия [5].

В качестве формата выходных документов была выбрана программа Microsoft Excel, обеспечивающая широкую совместимость с существующими средствами инженерного анализа.

Таким образом, выбор указанных инструментов и технологий был обусловлен необходимостью обеспечения надежной, точной и воспроизводимой обработки телеметрических данных с возможностью дальнейшего инженерного анализа результатов. Разработка программного средства осуществлялась в среде Windows 10 с использованием интегрированной среды разработки PyCharm, обладающей встроенными средствами управления проектами, анализа кода, отладки и контроля версий. Настройка рабочего окружения включала установку всех необходимых компонентов, организацию структуры проекта, настройку виртуального окружения, а также подготовку тестовых данных.

Перейдем к комментарию полученных результатов работы. Одной из ключевых задач разработки стало построение алгоритма извлечения данных из бинарного файла формата .bbkos (рис. 1, 2).

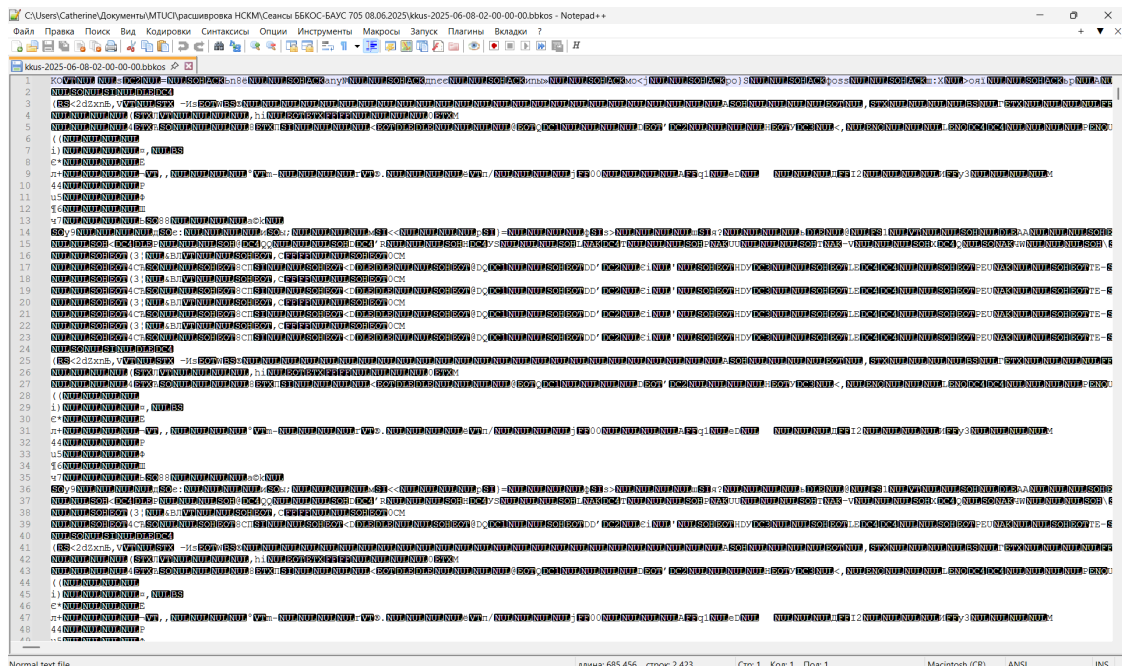


Рис. 1. Содержимое бинарного файла формата .bbkos

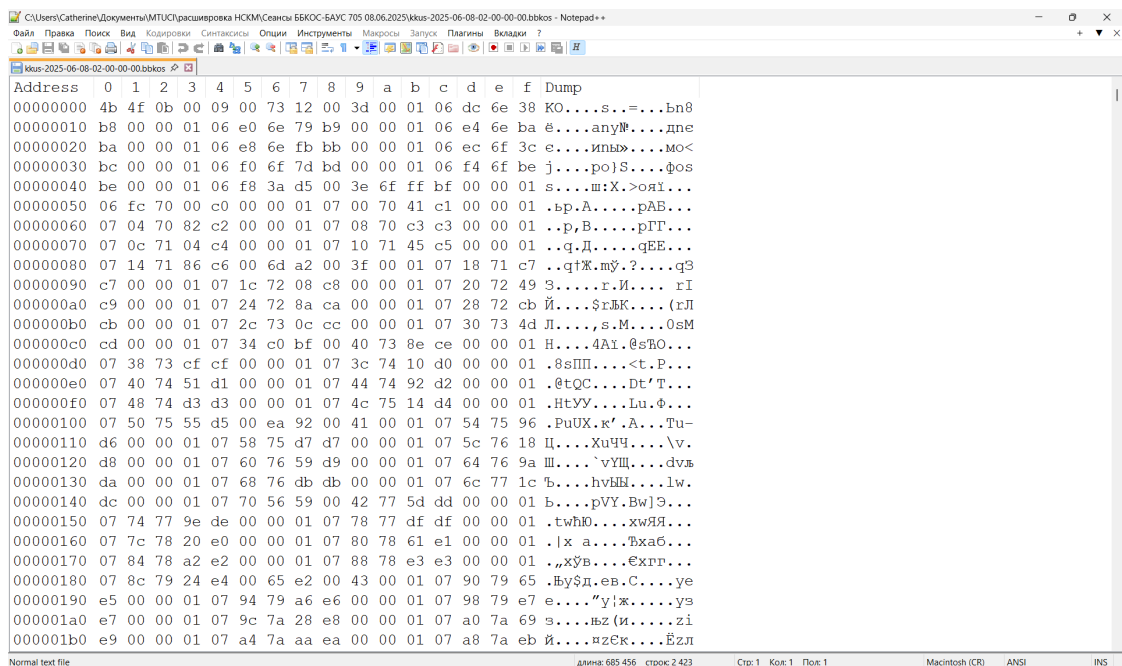


Рис. 2. Демонстрация содержимого файла в 16-ой ССЧ

Указанный формат представляет собой лог-файл, содержащий последовательности строк ББКос, организованных в пакеты БАУС, а затем в блоки МРИ. В процессе извлечения данных обеспечивается фильтрация, группировка и классификация телеметрических записей, а также исключение недопустимых или искаженных записей.

Алгоритм извлечения данных начинается с поэтапного считывания бинарного файла и преобразования данных в удобный для последующей обработки вид. Входной файл открывается в двоичном режиме с последующим побайтовым чтением и разбивается на массив 16-битных слов с помощью срезов и метода *.hex()*. Каждое слово интерпретируется как 2 байта в формате little-endian. Далее выполняется проход по массиву слов с поиском сигнатуры «4B4F», указывающей на начало пакета БАУС. После обнаружения сигнатуры пропускаются 4 служебных слова, и начинается извлечение последовательных блоков по 32 слова (объемом 64 байта), соответствующих одной строке ББКос.

Каждый блок содержит 32 слова, из которых первое — индекс строки, последнее — контрольная сумма CRC-16, остальные 30 — полезные данные. Если текущий блок соответствует одному из допустимых типов пакетов, и количество строк соответствует ожидаемому значению (например, 15 строк для типов 1–4), то весь пакет сохраняется как кортеж.

На основе списка всех извлеченных пакетов формируется логическая структура входного файла, сгруппированная по последовательным пакетам БАУС. Эта структура необходима для дальнейшего этапа — агрегации пакетов в блоки МРИ.

Для защиты от поврежденных данных был реализован базовый механизм контроля целостности на уровне строк ББКос. Таким образом, алгоритм извлечения обеспечивает:

- последовательный проход по файлу с корректной интерпретацией бинарных данных;
- группировку строк в пакеты;
- определение типа пакета на основе служебных значений;
- отбраковку поврежденных или неполных данных;
- подготовку структурированных данных для последующей агрегации в блоки МРИ.

Разработанный алгоритм является критически важным этапом предварительной обработки и обеспечивает достоверность исходной информации для последующей расшифровки, анализа и формирования отчетной документации.

После этапа извлечения пакетов БАУС из бинарного файла данные необходимо было обработать и структурировать для последующего анализа. Основной задачей данного этапа являлась агрегация строк в логические блоки МРИ, валидация их структуры и выделение информативных частей: заголовков, результатов измерений, а также контрольных полей. По ее завершению создается таблица с колонками: номер блока, наличие каждой строки, признак «Целое МРИ» и количество строк. Эти данные впоследствии сохраняются на листе «Анализ блоков» в выходном отчете формата таблицы Excel.

Далее структурированные данные по каждому МРИ записывались в датафреймы, реализованные на основе использования библиотеки *pandas*, осуществлялась подготовка к финальной визуализации и хранению результатов. Таким образом, на этапе обработки и структурирования данных обеспечивалась логическая организация потока измерений в соответствии с внутренней структурой МРИ, строгое соблюдение формата хранения, а также подготовка к последующей визуализации, статистическому анализу и экспорту результатов.

Заключительным этапом обработки телеметрической информации является сохранение полученных результатов в формате, пригодном для инженерного анализа, сопоставления и последующего архивирования. Процесс сохранения данных реализован в несколько этапов. В первую очередь формируется основной файл-отчет, включающий сводную информацию по анализу структуры пакетов и блоков.

На лист «Анализ блоков» (рис. 3) заносится информация о структуре каждого блока МРИ: наличие всех пяти строк, флаг целостности и общее количество строк.

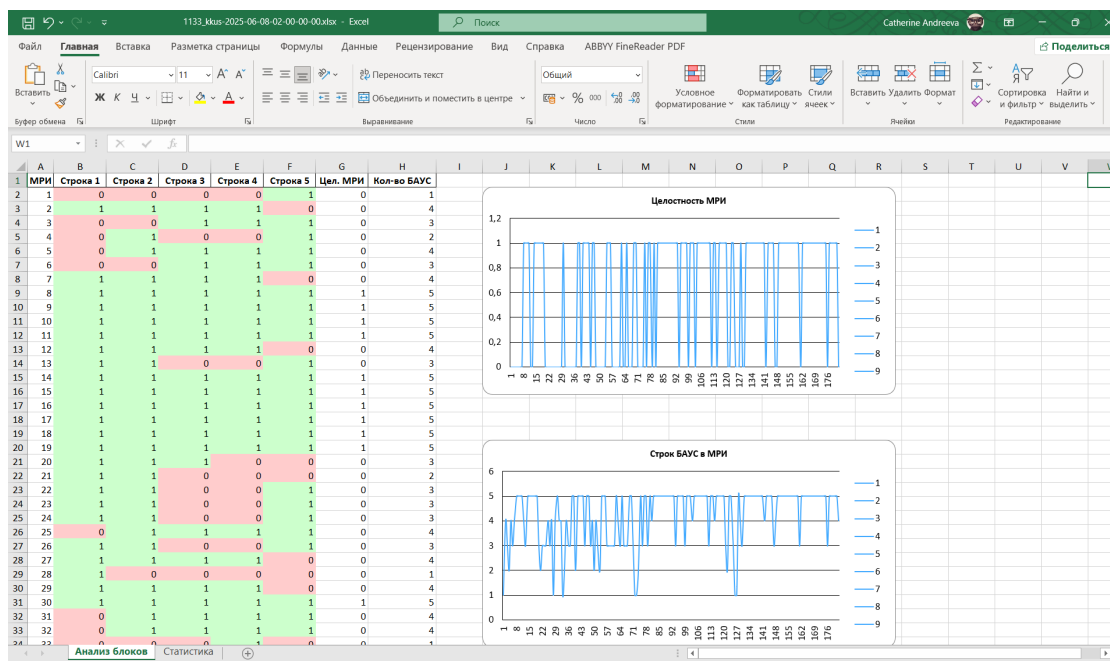


Рис. 3. Внешний вид листа с именем «Анализ блоков»

Для улучшения восприятия данные визуализируются с использованием цветовой заливки ячеек — зеленой при наличии строки, красной при отсутствии.

Дополнительно на лист добавляются линейные диаграммы, иллюстрирующие долю целых блоков и количество строк БАУС в каждом МРИ. На лист «Статистика» (рис. 4) записываются ключевые численные показатели: общее количество строк БАУС, количество дубликатов, число целых блоков МРИ, процент их доли, а также число строк с корректной и некорректной контрольной суммой CRC-16.

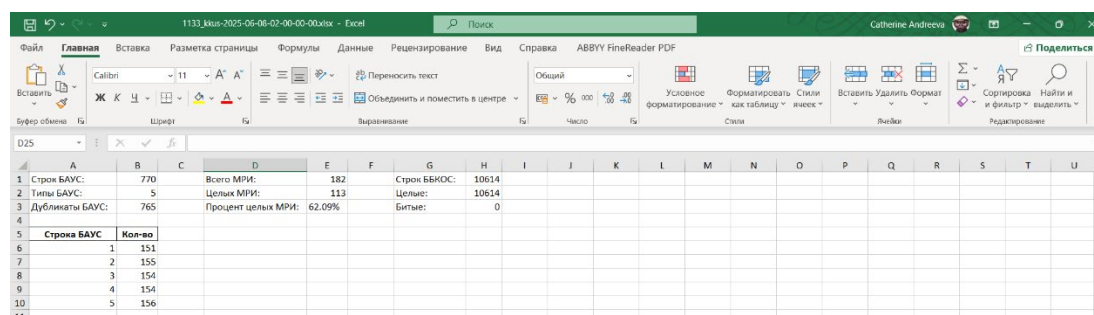


Рис. 4. Внешний вид созданного листа «Статистика»

При наличии целых блоков МРИ автоматически создается директория MRI, в которую поочередно сохраняются отдельные Excel-файлы, каждый из которых содержит полную расшифровку одного блока. Структура каждого такого файла включает три листа:

- «Данные» — таблица строк ББКОВ, сгруппированных по типу (рис. 5);
- «Заголовок» — расшифрованные параметры заголовка блока (рис. 6);
- «Результаты измерений» — декодированные импульсы с временными характеристиками (рис. 7).

1133_mri_block_8.xlsx - Excel

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Справка ABBYY FineReader PDF

Вставить Calibri 11 A A⁺ A⁻ Буфер обмена Шрифт Выравнивание Число

Общий Условное форматирование Форматировать как таблицу Стили Вставить Удалить Формат Ячейка

Сортировка и фильтр Найти и выделить

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	BAUC	БЕКОС	Слово 1	Слово 2	Слово 3	Слово 4	Слово 5	Слово 6	Слово 7	Слово 8	Слово 9	Слово 10	Слово 11	Слово 12	Слово 13	Слово 14	Слово 15	Слово 16	Слово 17	Слово 18	Слово 19	Слово 20	С
2	1	0001	0001	0000	0000	0000	0000	0000	0001	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
3	1	20002	4096	СВВЕ	0457	08AE	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
4	1	30003	0000	0010	0145	0500	0000	0014	0186	0600	0000	0018	01C7	0700	0000	001C	0208	0800	0000	0020	0249	0000	0000
5	1	40004	030C	0C00	0000	0030	0340	0000	0000	0034	038E	0E00	0000	0038	03CF	0F00	0000	003C	0410	1000	0000	0000	0000
6	1	50005	0000	004C	0514	1400	0000	0055	1500	0000	0054	0596	1600	0000	0058	0507	1700	0000	005C	0618	1800	0000	0000
7	1	60006	060B	1800	0000	006C	071C	1C00	0000	0070	075D	1000	0000	0074	079E	1E00	0000	0078	07DF	1F00	0000	0000	0000
8	1	70007	0000	0088	08E3	2300	0000	008C	0924	2400	0000	0090	0965	2500	0000	0094	09A6	2600	0000	0098	09E7	2700	0000
9	1	80008	0AAA	2A00	0000	00A8	0AEB	2800	0000	00AC	0B2C	2C00	0000	00B0	0B6D	2D00	0000	00BA	0BAE	2E00	0000	0000	0000
10	1	90009	0000	00C4	0CB2	3200	0000	00C8	0CF3	3300	0000	00CC	0D34	3400	0000	00D0	0075	3500	0000	00D4	0DB6	3600	0000
11	1	10000A	0E79	3900	0000	00E4	0EBA	3A00	0000	00E8	0EFB	3B00	0000	00EC	0F3C	3C00	0000	00F0	0F7D	3D00	0000	0000	0000
12	1	11000B	0000	0000	1041	4100	0000	0104	1082	4200	0000	0108	10C3	4300	0000	010C	1104	4400	0000	0110	1145	4500	0000
13	1	12000C	1208	4800	0000	0120	1249	4900	0000	0124	128A	4A00	0000	0128	12CB	4B00	0000	012C	130C	4C00	0000	0000	0000
14	1	13000D	0000	013C	1410	5000	0000	0140	1451	5100	0000	0144	1492	5200	0000	0148	14D3	5300	0000	014C	1514	5400	0000
15	1	14000E	15D7	5700	0000	015C	1618	5800	0000	0160	1659	5900	0000	0164	169A	5A00	0000	0168	16D8	5B00	0000	0000	0000
16	1	15000F	0000	0178	17DF	5F00	0000	017C	1820	6000	0000	0180	1861	6100	0000	0184	18A2	6200	0000	0188	18E3	6300	0000
17	2	10010	19A6	6600	0000	0198	19E7	6700	0000	019C	1A28	6800	0000	01A0	1A69	6900	0000	01A4	1AA4	6A00	0000	0000	0000
18	2	20011	0000	01B4	1BAE	6E00	0000	01B8	1BEF	6F00	0000	01BC	1C30	7000	0000	01C0	1C71	7100	0000	01C4	1CB2	7200	0000
19	2	30012	1D75	7500	0000	01D4	1DB6	7600	0000	01D8	1DF7	7700	0000	01DC	1E38	7800	0000	01E0	1E79	7900	0000	0000	0000
20	2	40013	0000	01F0	1F7D	7D00	0000	01F4	1FBE	7E00	0000	01F8	1FFF	7F00	0000	01FC	2000	8000	0000	0200	2041	8100	0000
21	2	50014	2104	8400	0000	0210	2145	8500	0000	0214	2186	8600	0000	0218	21C7	8700	0000	021C	2208	8800	0000	0000	0000
22	2	60015	0000	022C	230C	8C00	0000	0230	234D	8D00	0000	0234	238E	8E00	0000	0238	23CF	8F00	0000	023C	2410	9000	0000
23	2	70016	24D3	9300	0000	024C	2514	9400	0000	0250	2555	9500	0000	0254	2596	9600	0000	0258	25D7	9700	0000	0000	0000
24	2	80017	0000	0268	26D8	9800	0000	026C	271C	9C00	0000	0270	275D	9D00	0000	0274	279E	9E00	0000	0278	27DF	9F00	0000
25	2	90018	28A2	A200	0000	0288	28E3	A300	0000	028C	2924	A400	0000	0290	2965	A500	0000	0294	29A6	A600	0000	0000	0000
26	2	10019	0000	02A4	2AAA	AA00	0000	02A8	2AEB	AB00	0000	02AC	2B2C	AC00	0000	02B0	2B6D	AD00	0000	02B4	2BAE	AE00	0000
27	2	1101A	2C71	B100	0000	02C4	2CB2	B200	0000	02C8	2CF3	B300	0000	02CC	2D34	B400	0000	02D0	2D75	B500	0000	0000	0000
28	2	1201B	0000	02E0	2E79	B900	0000	02E4	2EBA	BA00	0000	02E8	2EFB	BB00	0000	02EC	2F3C	BC00	0000	02F0	2F7D	BD00	0000
29	2	1301C	3000	0000	0300	3041	C100	0000	0304	3082	C200	0000	0308	30C3	C300	0000	030C	3104	C400	0000	0308	3145	CC00
30	2	1401D	0000	031C	3208	C800	0000	0320	3249	C900	0000	0324	328A	CA00	0000	0328	32CB	CB00	0000	032C	330C	CC00	0000
31	2	1501E	33CF	CF00	0000	033C	3410	D000	0000	0340	3451	D100	0000	0344	3492	D200	0000	0348	34D3	D300	0000	0000	0000
32	3	1001F	0000	0358	35D7	D700	0000	035C	3618	D800	0000	0360	3659	D900	0000	0364	369A	DA00	0000	0368	36D8	DB00	0000
33	3	20020	379E	DE00	0000	0378	37DF	DF00	0000	037C	3820	E000	0000	0380	3861	E100	0000	0384	38A2	E200	0000	0388	38E3
34	3	30021	0000	038C	38E3	E400	0000	0390	3924	E500	0000	0394	3965	E600	0000	0398	39A6	E700	0000	039C	39E7	EA00	0000

Рис. 5. Лист с данными

1133_mri_block_8.xlsx - Excel

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование

Вставить Calibri 11 A A⁺ A⁻ Буфер обмена Шрифт Выравнивание

А1 Параметр

	A	B	C	D	E	F
1	Параметр	Значение				
2	Размер информативных данных	4080				
3	Бортное время	00:00:00 01.01.2000				
4	Тест. параметр к.1	1				
5	Тест. параметр к.2	2				
6	Тест. параметр к.3	3				
7	Тест. параметр к.4	4				
8	Тест. параметр к.5	5				
9	Тест. параметр к.6	6				
10	Порог ФПУ к.1 (мВ)	1,1				
11	Порог ФПУ к.2 (мВ)	1,2				
12	Порог ФПУ к.3 (мВ)	1,3				
13	Порог ФПУ к.4 (мВ)	1,4				
14	Порог ФПУ к.5 (мВ)	1,5				
15	Порог ФПУ к.6 (мВ)	1,6				
16	Нач. темп. ФПУ к.1	-90				
17	Нач. темп. ФПУ к.2	-80				
18	Нач. темп. ФПУ к.3	-70				
19	Нач. темп. ФПУ к.4	-60				
20	Нач. темп. ФПУ к.5	-50				
21	Нач. темп. ФПУ к.6	-40				
22	Нач. темп. СВУ	-10				
23	Нач. темп. МП	0				
24	Кон. темп. ФПУ к.1	10				
25	Кон. темп. ФПУ к.2	20				
26	Кон. темп. ФПУ к.3	30				
27	Кон. темп. ФПУ к.4	40				
28	Кон. темп. ФПУ к.5	50				
29	Кон. темп. ФПУ к.6	60				
30	Кон. темп. СВУ	90				
31	Кон. темп. МП	100				
32	Версия ПО	1111				
33	Номер СВУ	2222				

Рис. 6. Расшифрованные параметры заголовка блока

1133_mri_block_8.xlsx - Excel									
Поиск									
Файл	Главная	Вставка	Разметка страницы	Формулы	Данные	Рецензирование	Вид	Справка	A
<div> <div>Вставить</div> <div> <div>Шрифт</div> <div> Calibri 11 </div> </div> <div> <div>Выравнивание</div> <div> Общий </div> </div> </div>									
Буфер обмена									
A1									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	№	Канал	Сек. стрелка	Время М	Время N	Время прихода импульса		Параметр	Значение
2	1	1	1	1	1	1000000077195.630		Значений	499
3	2	2	2	2	2	1000000052169.195		Минимум	1
4	3	3	3	3	3	1000000027142.760		Максимум	499
5	4	4	4	4	4	1000000002116.326		Среднее	250
6	5	5	5	5	5	999999977089.891		СКО	144,193
7	6	6	6	6	6	999999952063.456			
8	7	7	7	7	7	999999927037.021			
9	8	8	8	8	8	999999902010.586		Нулевое поле	0x00000000 OK
10	9	9	9	9	9	999999876984.152		CRC-32	0xE4CEF1FC OK
11	10	10	10	10	10	999999851957.717			
12	11	11	11	11	11	999999826931.282			
13	12	12	12	12	12	999999801904.847			
14	13	13	13	13	13	999999776878.412			
15	14	14	14	14	14	999999751851.978			
16	15	15	15	15	15	999999726825.543			
17	16	16	16	16	16	999999701799.108			
18	17	17	17	17	17	999999676772.673			
19	18	18	18	18	18	999999651746.238			
20	19	19	19	19	19	999999626719.804			
21	20	20	20	20	20	999999601693.369			
22	21	21	21	21	21	999999576666.934			
23	22	22	22	22	22	999999551640.499			
24	23	23	23	23	23	999999526614.064			
25	24	24	24	24	24	999999501587.630			
26	25	25	25	25	25	999999476561.195			
27	26	26	26	26	26	999999451534.760			
28	27	27	27	27	27	999999426508.325			
29	28	28	28	28	28	999999401481.890			
30	29	29	29	29	29	999999376455.456			
31	30	30	30	30	30	999999351429.021			
32	31	31	31	31	31	999999326402.586			
33	32	32	32	32	32	999999301376.151			
34	33	33	33	33	33	999999276340.716			
Данные Заголовок Результаты измерений									

Рис. 7. Результаты измерений

В заключение следует отметить, что результаты, полученные в ходе исследования, подтвердили возможность автоматизации рутинных процессов анализа телеметрии и их интеграции в инженерные рабочие процессы. Начиная с этапа загрузки входного файла и до получения структурированного отчета пользователь полностью освобождается от необходимости ручной расшифровки данных. После внедрения программы, среднее время обработки одного файла формата .bbkos составило менее 20 сек. (при среднем объеме нескольких тысяч строк), в то время как ручная расшифровка данных могла занимать несколько рабочих дней.

Таким образом, разработанный программный инструмент обеспечивает полный цикл автоматизированной обработки телеметрических данных — от чтения бинарного файла и проверки целостности до визуализации и формирования отчетной документации.

Литература

1. Аль-Хазраджи Х.А., Хуссейн Х.А., Аль-Саади С.А. Одномерный поисковый анализ данных спутниковой телеметрии // Международный журнал спутниковой связи и сетей. – 2023. – Том 41, № 2. – С. 1498. – DOI: 10.1002/сб.1498.
2. Гуриков С.Р. Основы алгоритмизации и программирования на Python: учебное пособие / С.Р. Гуриков. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2025. – 343 с.
3. Попов А.М. Анализ задачи верификации алгоритмов обработки телеметрической информации / А.М. Попов, В.В. Шмелев, В.В. Ткаченко // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 1. – С. 3-8.
4. Телеметрическая система для высокоскоростных летательных аппаратов боевого назначения / Г. Ермолдина, А. Бердібеков, А.Аден [и др.] // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2022. – № 4(123). – С. 572-583.
5. Microchip Technology Inc., США. Создание и проверка CRC: Инструкция по применению AN730A. – Чандлер, Аризона: Microchip Technology Inc., 2000. – 12 с. – URL: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00730a.pdf> (дата обращения: 30.10.2025).