

*Савельева О.А.*

*Студент магистратуры*

*1 курс, институт информатики и телекоммуникаций*

*Сибирский государственный университет науки и технологий*

*им. М.Ф. Решетнева*

*Россия, г. Красноярск*

*Савельев И.С.*

*Инженер*

*АО «Информационные спутниковые системы»*

*Россия, Красноярский край, г. Железногорск*

## **УПРАВЛЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКОЙ С DTP**

***Аннотация:** В данной работе раскрыто понятие DTP и роль его применения на борту космического аппарата. Рассматривается принцип работы цифрового прозрачного процессора DTP. Приведены преимущества и недостатки управления ПН с использованием DTP, подробно описана специфика применяемого в DTP программного обеспечения.*

***Ключевые слова:** полезная нагрузка, DTP, цифровой прозрачный процессор, управление ПН, телеметрия.*

***Annotation:** In this paper, the concept of DTP and the role of its application on board a spacecraft are disclosed. The principle of operation of a digital transparent processor DTP is considered. Advantages and disadvantages of DT control using DTP are described, the specifics of the software used in DTP are described in detail.*

***Keywords:** payload, DTP, transparent digital processor, PN control, telemetry.*

Создание космических аппаратов с бортовой цифровой обработкой сигналов становится более актуально в наше время, несмотря на высокую цену подобных разработок. Большой интерес вызывает цифровая бортовая

аппаратура с динамической маршрутизацией сигналов земных станций. Использование маршрутизации на борту КА безусловно облегчит структуру наземных инфокоммуникационных сетей. Однако, по меркам развития информационных технологий, бортовая маршрутизация появилась и существует длительный промежуток времени. Более перспективным и актуальным направлением для сохранения и развития отечественных предприятий на рынке разработки и создания современных спутников, сетей связи и сетевого оборудования является создание космического аппарата с бортовой аппаратурой позволяющей обеспечивать гибкое формирование и распределение частотных каналов с прозрачной маршрутизацией. Такими функциями обладает Digital Transparent Processor (DTP).

Функционирование связного космического аппарата с использованием цифрового DTP осуществляется следующим образом: входные сигналы дискретизируются через аналого-цифровые преобразователи и обрабатываются с помощью численных алгоритмов в специализированных интегральных схемах (ASIC) для реализации соответствующей маршрутизации. После этого происходит усиления на цифровом уровне. Результат цифровой обработки (DTP) преобразуется в аналоговые сигналы через цифроаналоговые преобразователи. Сигналы на выходе DTP перед передачей на Землю усиливаются традиционными компонентами (УЛБВ, ТТУ).

Конструкция DTP с модульной архитектурой позволяет повторно использовать основные блоки (ASIC и цифровые платы) для DTP различной емкости. Это реализуется благодаря соответствующей модульной механической архитектуре оборудования[1].

Разработка универсальных ASIC для обработки сигналов, позволяющих использовать модульный подход, полностью совместимый с различной пропускной способностью. Такой подход к стандартизации является важным шагом для разработки ПН КА (DTP, встроенный регенеративный процессор и т.д.).

Цифровой прозрачный процессор управляет большим частотным спектром. По запросу наземной службы, DTP может предоставить примерно в 100 раз больше телеметрической информации по сравнению с тем, что обычно предоставляют традиционные ПН в периодически запрашиваемой телеметрии.

С точки зрения полезной нагрузки, добавление DTP означает увеличение сложности по сравнению с традиционным полностью аналоговым оборудованием за счет бортового компьютера с частью на земле (PCS) и частью на борту космического аппарата (DTP). Цифровая обработка сигналов, обеспечиваемая DTP, сопровождается большим объемом и сложностью встроенных конфигураций, предлагающих совершенно новые функциональные возможности, которые варьируются от наблюдения за мощностью входного радиочастотного сигнала до контроля полей программного управления, таких как состояние дополнительного оборудования и температуры. Данный контроль осуществляется путем запроса телеметрии КА с земной станции. Ввиду большего объема запрашиваемой информации, мы сталкиваемся с парадоксом, заключающимся в том, что увеличение количества элементов телеметрии также увеличивает предполагаемое количество случаев возникновения ошибок.

Однако, цифровые процессоры DTP остаются сложными в использовании по причине приема сигнала наземными станциями, применяемыми для приема информации в «традиционных» спутниковых системах, без применения значительных усилий по перенастройке.

Для автоматизации выполнения процедур эксплуатации спутника была разработана специальная программная среда. Благодаря ее универсальному и системно-независимому подходу обеспечивается однородность между различными платформами и спутниковыми системами управления. Это снижает риски при работе со спутниками за счет повышения автоматизации, улучшения удобочитаемости процедур и их операционной эффективности, что снижает эксплуатационные расходы.

Стандартные цели безопасных, автоматизированных и эффективных операций были дополнены новой и более динамичной операционной

концепцией, специфичной для операций DTP. Благодаря разработанной программной среде удалось расширить перечень операций DTP, а также было разработано и встроено специализированное программное обеспечение для контроля полезной нагрузки, требуемое для операций DTP.

DTP состоит из FPGA (полевых программируемых вентильных массивов) для обработки телеметрических и командных интерфейсов, а также ASIC для выполнения цифровой обработки сигналов. Существуют различные виды DTP, некоторые из них имеют широкий спектр возможностей и предназначены для приема команд высокого уровня, таких как «Создание канала маршрутизации от А до Б». Но применение таких процессоров на борту не всегда является выгодным и практичным решением, как с экономической точки зрения, так и с точки зрения управления DTP. Более выгодным является DTP, который принимает низкоуровневые команды, определяющие конфигурацию каждой ASIC и способствуют созданию канала[2].

Поскольку DTP аппаратно-управляемый, он выполняет те действия и конфигурации, которые поступают на борт КА с наземной системы управления. Однако, следует избегать проблем с рассогласованием, а именно, необходимо, чтобы в наземном и бортовом программном обеспечении были согласованы конфигурации. Наземное программное обеспечение должно иметь функцию защиты от случайных ошибок, чтобы ошибки оператора не передавались на бортовое программное обеспечение[3]. Бортовое аппаратное обеспечение обязательно должно иметь функцию перезаписи, для того, чтобы PCS мог установить или сбросить требуемую конфигурацию.

Однако у такого типа цифрового процессора есть минусы:

1) DTP имеет командный интерфейс низкого уровня, так как понимается только список «коэффициентов ASIC» (или «машинного кода»). Объем загруженных данных для выполнения заданного действия конфигурации увеличивается с нескольких байтов до сотен байтов, что значительно увеличивает продолжительность любого командного действия и увеличивает

время простоя в случае непредвиденных обстоятельств, когда необходимо перезагружать всю конфигурацию DTP.

2) «Компиляция» высокоуровневой команды в «коэффициенты ASIC» требует знания точных текущих конфигураций DTP на борту. Данные низкоуровневые конфигурации имеют большой объем, поэтому сохранение этих данных между серверами резервного копирования без ошибок имеет важное значение для поддержания работоспособности системы резервирования в «горячем» режиме. Любая ошибка немедленно приведет к повреждению DTP и, возможно, к сбоям при следующей команде конфигурации.

3) В настоящее время идет непрерывное развитие конфигурации полезной нагрузки. Так как DTP «понимает» только команды низкого уровня, то любая последовательность команд высокого уровня, хранящаяся в главном компьютере спутника, потребовала бы преобразования сложных алгоритмов PCS в команды низкого уровня. Хранение последовательностей восстановления низкого уровня не было бы эффективным, потому что команды низкого уровня потребовали бы задачи непрерывного обновления по мере развития конфигурации полезной нагрузки.

4) Если рассматривать DTP более сложные, с имеющимся программным обеспечением для маршрутизации, на Земле все равно должны храниться таблицы маршрутизации каналов высокого уровня, и, если они не синхронизированы со спутником, могут возникать сбои.

5) Стоимость наземного встроенного программного обеспечения и оборудования для его размещения, включая стоимость тестирования, намного ниже, чем оборудование для космического использования;

6) Нет возможности легко обновлять программное обеспечение, как для исправлений, так и для будущих обновлений того DTP;

7) DTP – гораздо более сложная бортовая система, которая подчиняется наземным инструкциям только при помощи специальных команд управления ввиду использования специализированных интегральных схем ASIC для

выполнения цифровой обработки. Кроме этого «земля» не имеет полную видимость состояния бортовой конфигурации.

Для многолучевых КА DTP является важным компонентом, позволяющим адаптировать и маршрутизировать трафик в соответствии с потребностями рынка.

Разработанный продукт может стать основой будущей ПН, предлагая клиентам возможности гибкости частотного плана, высокой пропускной способности, достаточной степени детализации и возможности широковещательной или многоадресной передачи.

#### **Использованные источники:**

1. TAS// Digital Transparent Processor (DTP) [Электронный ресурс] URL: <https://artes.esa.int/projects/digital-transparent-processor-dtp> (дата обращения: 25.12.2019).
2. D. Morelli, A. Mainguet, M.Eustace// Automated operations of large GEO telecom satellites with Digital Transparent Processors (DTP): Challenges and lessons learned// SpaceOps Conferences, 28May-1 June 2018.
3. Моисеев Н.И., Могучев В.И., Сигал А.И. Перспективные направления развития спутниковых систем связи РФ двойного назначения// «Т-Comm – Telecommunications and Transport» magazine// ООО «Издательский дом Медиа Паблшер», №11-2010.