

СИСТЕМА ФОТОГРАФИРОВАНИЯ И БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ УНИВЕРСИТЕТСКОГО НАНОСПУТНИКА SATUM

Вадим УНГУРЯН, Сергей ГРИЦКОВ, Николай СЕКРИЕРУ, Юрий КОСТИН
Технический Университет Молдовы
atmegait@mail.ru, gritscov@gmail.com, nsecrieru@gmail.com, zakazpcb@mail.ru

Аннотация: В работе рассматривается проектирование системы фотографирования студенческого наноспутника SATUM. Представлены блок-схема функционирования системы фотографирования, алгоритм функционирования системы сохранения изображения в локальной памяти и его беспроводной передачи на компьютер. Система управления фотографированием и беспроводной передачей данных реализована на основе программируемой логики и микроконтроллеров семейства MSP430, представлена программа-конвертор изображения. Проанализированы полученные результаты с поставленной задачей.

Ключевые слова: сенсор, управление, система фотографирования, наноспутник SATUM, радиотрансивер, модулятор.

I. Введение

А. В работе рассмотрена подсистема орбитальной фотосъемки студенческого наноспутника SATUM (Satelit Universitar Moldovenesc). Целью проектирования является разработка системы фотографирования, а именно передачи изображения с цветного КМОП-сенсора за интервал времени не более одной секунды.

Известно, что на космических аппаратах применяются в основном сенсоры с ПЗС (прибор с зарядовой связью) структурой, которые могут фотографировать лишь в определенном спектре электромагнитных волн (например, только в инфракрасном диапазоне). Также данные сенсоры не обладают глобальным шутером, что не позволяет сенсору мгновенно зафиксировать изображение. Данный недостаток приводит к тому, что сфотографированные изображения обладают геометрическим искажениями, из-за передвижения спутника на высокой скорости по орбите Земли.

Известны различные проекты малых спутников, предназначенных для фотосъемки Земли, среди которых можно выделить GEOEYE-1, WORLDVIEW-2, PRISM. На спутнике GEOEYE-1 установлен сенсор для фотосъемки, который может работать в хроматическом или мультиспектральном режимах при максимальном разрешении 0,41 м в хроматическом режиме и 1,65 м в мультиспектральном. Спутник WORLDVIEW-2 содержит 8 монохроматических сенсора для фотосъемки, каждый из которых настроен на определенный цвет (например, красный, зеленый и другие).

На японском студенческом пикоспутнике "PRISM" для фотосъемки применены два цветных КМОП-сенсора на 1,3 Мпиксела. Система фотографирования представляет собой цветной КМОП-сенсор предназначенный для фотографирования Земли, локальную оперативную память, куда сохраняется изображение, и процессор, который осуществляет обработку сохраненного в локальной памяти изображения. Данная система фотографирования представлена на рис.1. NAC Image Sensor обозначает цветной КМОП-сенсор для фотографирования Земли, WAC Image Sensor обозначает цветной КМОП-сенсор для фотографирования NAC сенсора, чтоб определить, направление съемки NAC сенсора. Система, представленная на рис.1, достаточно информативна и не требует дополнительных пояснений.

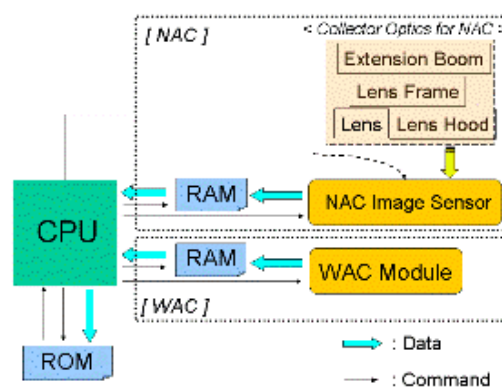


Рис.1. Система фотографирования японского студенческого пикоспутника "PRISM".

Управление системой фотографирования в

обыденных фотоаппаратах, системах слежения и других системах фотосъемки выполняют DSP (цифровые сигнальные процессоры) и микроконтроллеры с архитектурой ARM, которые обладают высокой степенью интеграции и являются ресурсоемкими, что неприемлемо для проектов наноспутников. Для реализации системы фотографирования требуется высокое быстродействие процессорной системы, которая управляет системой фотосъемки. В соответствии с требованиями высокой скорости выполняемых операций процессорной системой фотографирования можно применить ПЛИС (программируемая логическая интегральная схема).

В. По техническому заданию наноспутнике SATUM должен быть установлен КМОП (комплементарная логика на транзисторах металл-оксид-полупроводник) сенсор с разрешением 5 Мпикселей, размер передаваемого снимка, после предварительной обработки (помехоустойчивого кодирования), составит около 10 Мбайт. Снимки, сделанные наноспутником должны передаваться на Землю в режиме реального времени, со скоростью около 100 Мбит/с.

Для реализации макета модуля беспроводной передачи данных выбран комплект eZ430-RF2500. Выбранный комплект позволяет значительно сэкономить время на освоение технологии, разработку и изготовление печатных плат, а также на устранение возможных ошибок. Внешний вид комплекта представлен на рис.2.

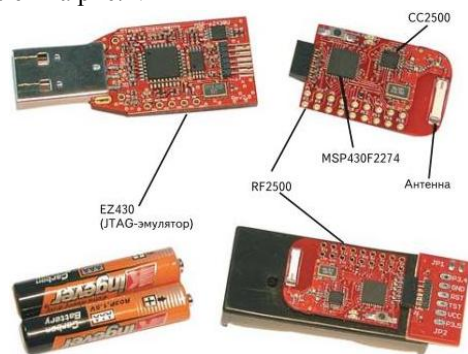
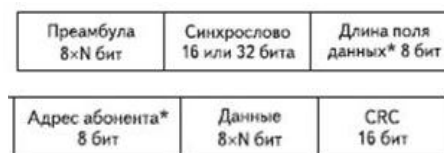


Рис.2. Комплект eZ430-RF2500.

Комплект состоит из двух плат RF2500, JTAG эмулятора eZ430 и платы расширения с держателем батареек. На плате RF2500 установлен радиотрансивер на CC2500, работающий под управлением микроконтроллера MSP430F2274. Радиотрансивер CC2500 позволяет передавать данные с максимальной скоростью до 500 Кбит/с.

Особенность радиотрансивера CC2500 — наличие встроенной аппаратной поддержки пакетного режима передачи. Поддерживаются режимы передачи пакетов с фиксированной, переменной и бесконечной длиной. Формат пакета данных представлен на рис.3.



*не обязательные к использованию

Рис.3. Формат пакета данных, формируется внутренним контроллером пакетов радиотрансивера CC2500.

Радиотрансивер CC2500 оснащен блоком опережающей коррекции ошибок — позволяющий исправлять некоторое количество ошибок в принятом сообщении путем избыточного шифрования данных по определенным правилам.

Связь радиотрансивера CC2500 с внешним микроконтроллером MSP430F2274 осуществляется по последовательному синхронному интерфейсу SPI с дополнительными выводами управления GDO0–GDO2. Функциональное назначение дополнительных выводов программируется и может быть различным. Например, сигналы на этих выводах могут информировать микроконтроллер об окончании передачи или наличии принятой информации.

II. Описание аппаратной части системы фотографирования

В системе фотографирования студенческого наноспутника SATUM был применен ПЛИС (CPLD) семейства MAX II фирмы Altera, основной задачей которого является управление записью изображения с цветного КМОП-сенсора для фотографирования на 0,3 МПикселя в память и передача данного изображения из памяти по шине данных на модуль последующей обработки изображения, либо передача изображения по интерфейсу RS232/USB на компьютер. В качестве локальной памяти применено статическое ОЗУ, необходимое для хранения одного изображения. Вспомогательным модулем является микроконтроллер семейства MSP430, который предназначен для настройки параметров КМОП-сенсора, а также отладки всей системы захвата изображения. На уровне блок-схемы система захвата изображения представлена на рис.4.

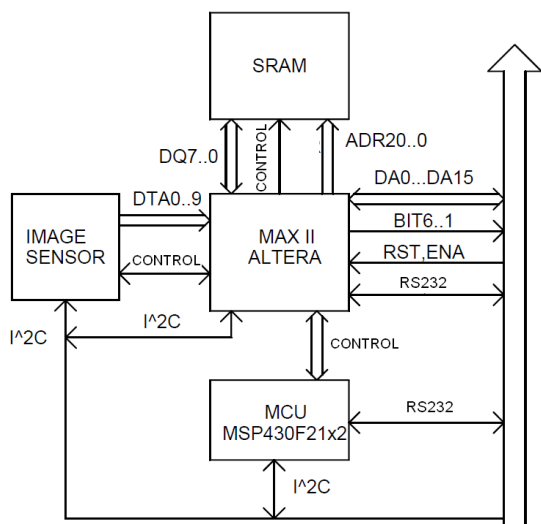


Рис.4. Блок-схема системы захвата изображения.

Модули, представленные на рис.4, обозначают:

Модуль фотографирования IMAGE SENSOR – КМОП-сенсор MT9V033 с разрешением в 0,3 Мпикс и с наличием глобального затвора. Модуль “MAX II” – ПЛИС(CPLD) фирмы Altera семейства MAX II, которая осуществляет запись изображения из сенсора в память и чтение изображения из памяти и передача его на компьютер. Блок памяти SRAM – статическая память объемом в 2 Мбайта для хранения захваченного изображения. Блок MCU MSP430 – микроконтроллер, предназначенный для управления настройками сенсора, а также для возможности тестирования и настройки всего модуля. Шины “I²C” и RS232 –

интерфейсы последовательной передачи/приема команд с компьютера или других модулей. Шина Control – шина передачи/приема команд между модулем MAX II, микроконтроллером, сенсором и памятью. Шина ADR20..0 – шина адресации памяти (для адресации 2 Мбайт требуется 21 линия передачи адреса). По шине DTA0..9 последовательно передается изображение на ПЛИС с КМОП-сенсора, а с ПЛИС изображение записывается в память по шине DQ7..0 (два младших бита из 10 (DTA0..9) игнорируются). По шине DA0..DA15 изображение передается на следующий модуль обработки (кодирования изображения, модуляции).

В результате проектирования принципиальной электрической схемы системы фотографирования была разработана плата печатного монтажа, представленная на рис.5. Размеры платы 100 x 85 мм.

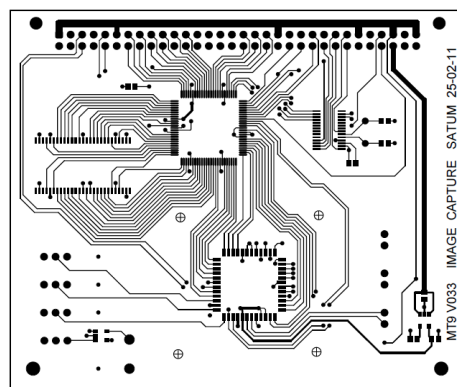


Рис.5. Плата печатного монтажа системы спутникового фотографирования.

Печатная плата после монтажа электронных компонентов без оптической системы наноспутника SATUM представлена на рис.6.

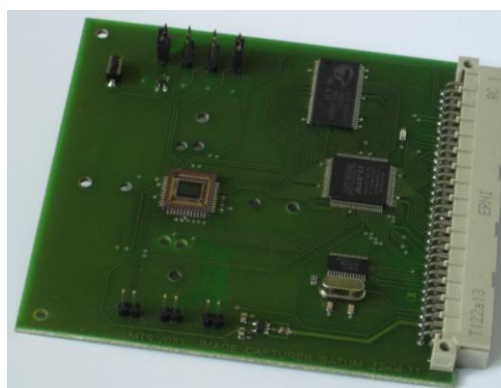


Рис.6. Макет системы фотосъемки наноспутника SATUM.

Плата системы фотографирования в совокупности с оптической системой и вспомогательными системами наноспутника SATUM представлена на рис.7.

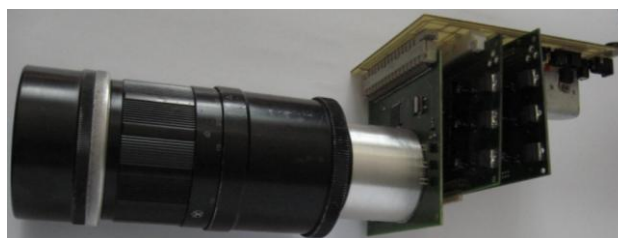


Рис.7. Система фотографирования в ансамбле с вспомогательными подсистемами наноспутника SATUM.

III. Управление системой фотографирования и передача изображения

В данной главе рассмотрен алгоритм функционирования проекта по управлению записью и передачей изображения на компьютер, а также представлен результат описания данного проекта на алгоритмическом языке VHDL.

Модуль управления записью в память и передачей изображения на компьютер основан на ПЛИС семейства MAX II, который сконфигурирован при помощи языкового описания на алгоритмическом языке VHDL. Принцип функционирования данного модуля представлен в виде алгоритма на рис.8.

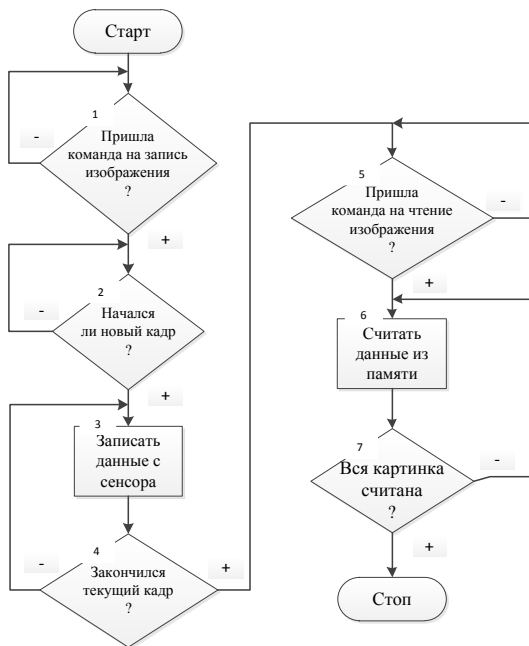


Рис.8. Алгоритм функционирования ПЛИС семейства MAX II.

Проект по управлению записью и передачей изображения функционирует следующим образом: система ожидает прием команды с компьютера на разрешение захвата изображения (блок 1). Если разрешение на захват изображения пришло, осуществляется ожидание начала нового кадра (блок 2), так как КМОП-сенсор работает в режиме передачи видео, то есть непрерывно передает кадр за кадром. Если начался новый кадр, начинается передача байта данных из сенсора в память (блок 3), при этом память настраивается в режим записи. Когда заканчивается текущий кадр, который записывался в память, запись прекращается (блок 4). Далее ожидается команда на разрешение чтения изображения из памяти (блок 5). Когда разрешение на чтение картинки пришло, начинается чтение данных из памяти и передача их на компьютер (блок 6). Ожидается окончание передачи

изображения на компьютер (блок 7). После окончания передачи изображения на компьютер система фотографирования готова к записи следующей картинки.

В результате языкового описания на алгоритмическом языке VHDL был сгенерирован проект по управлению системой фотографирования. RTL-диаграмма проекта представлена на рис.9.

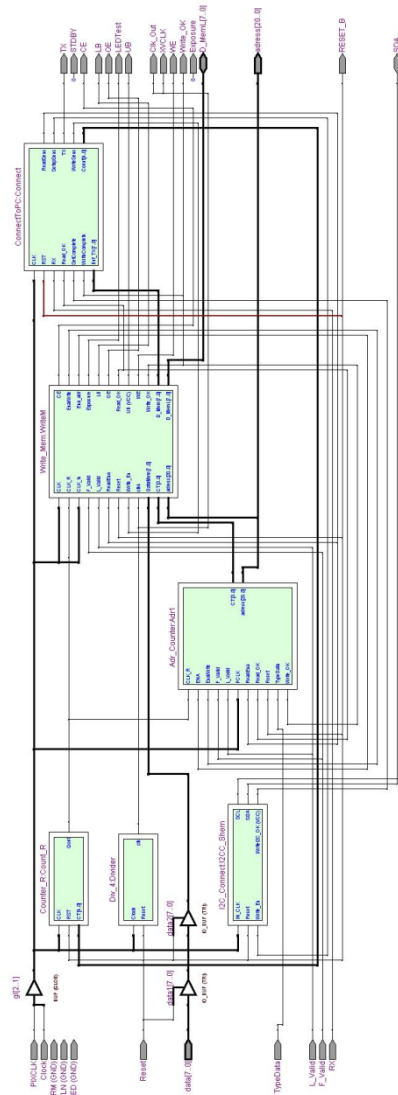


Рис.9. Представление конфигурации ПЛИС на структурно-функциональном уровне.

Когда начинается новый кадр, CPLD пересылает данные с сенсора в память, формируя при этом соответствующие адреса (модуль Adr_Counter) и управляющие сигналы(модуль Write_Mem), необходимые для записи данных в память. Данные передаются с частотой 13,5 МГц. После окончания записи данных CPLD высылает по модулю Connect_To_PC подтверждение, что картинка захвачена. Ожидается далее команда на чтение. Если она пришла, то модуль Connect_To_PC дает команду

При приходе команды с микроконтроллера на захват картинки, модуль Connect_To_PC дает команду модулю Write_Mem для того, что необходимо захватить изображения. Модуль Write_Mem осуществляет все необходимые предварительные настройки и ожидает начала нового кадра (сенсор работает в режиме непрерывной съемки).

модулю Write_Mem на разрешение чтения данных из памяти. Модуль Write_Mem настраивает память на режим чтения и, считываемые данные передаются при помощи модуля Connect_To_PC на компьютер по интерфейсу RS232 на скорости 115_200 бит/с.

IV. Модуль беспроводной передачи данных

Для работы с комплектом необходима среда разработки программного обеспечения для микроконтроллера MSP430 – «IAR Embedded Workbench». Данная среда разработки включает в себя все необходимое для работы с MSP430: компилятор языка Си, ассемблер, сборщик кода, а также отладчик, позволяющий проводить как программную симуляцию выполнения кода, так и отладку программы в микроконтроллере посредством JTAG интерфейса.

Сфотографированный снимок, в макете модуля eZ430, будет передаваться пакетами размером по 60 байт. Принцип работы модуля беспроводной передачи данных описывается алгоритмами, изображенными на рис.10 и рис.11.

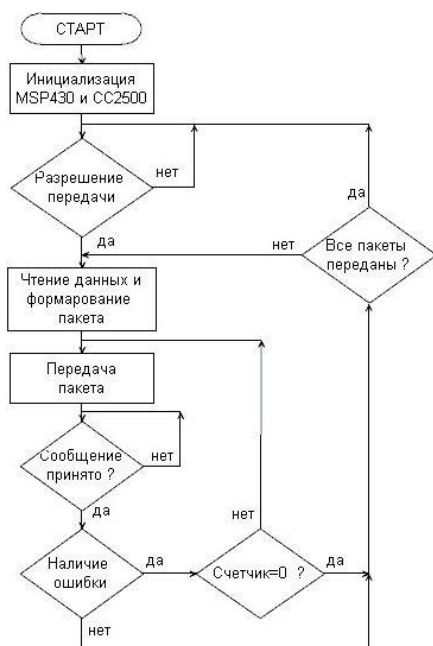


Рис.10. Алгоритм работы модуля беспроводной передачи данных.

Модуль беспроводной передачи данных ожидает команду от пользователя на разрешение передачи снимка. После приема данной команды, производится чтение данных от модуля спутниковой фотосъемки и формирование пакета данных, размером 60 байт. Радиотрансивер добавляет к пакету с данными преамбулу, синхрослово, длину поля данных, контрольную сумму и передает пакет в радиоэфир.

Далее ожидается ответ от приемника, о подтверждении целостности данных. Если данные были приняты приемником без ошибки, проверяется количество отправленных пакетов. В случае, если все пакеты уже отправлены, процесс передачи завершается и модуль переходит в режим ожидания, иначе процесс передачи данных повторяется. Если от приемника было принято сообщение о том, что принятые данные повреждены, передача пакета повторяется ограниченное количество раз.

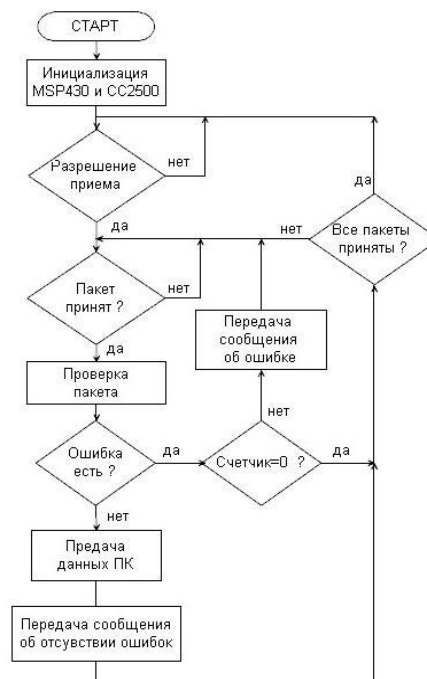


Рис.11. Алгоритм работы модуля беспроводного приема данных.

Модуль беспроводного приема данных, по команде пользователя, отправляет передатчику команду о разрешении передачи данных. Далее модуль ожидает приема данных. После того как пакет с данными был принят, осуществляется проверка на наличие ошибок. В случае обнаружения ошибки в пакете передатчику отправляется сообщение об ошибке. Если в принятом пакете не было обнаружено ошибки, осуществляется передача данных компьютеру, сообщения об отсутствии ошибок и проверка количества принятых пакетов.

V. Результаты проектирования

Результат компиляции проекта на ПЛИС семейства MAX II представлен на рис. 12.

Flow Status	Successful - Fri Jul 29 13:16:46 2011
Quartus II Version	9.1 Build 304 01/25/2010 SP 1 SJ Full Version
Revision Name	TestMemory
Top-level Entity Name	TestMemory
Family	MAX II
Device	EPM240T10015
Timing Models	Final
Met timing requirements	No
Total logic elements	165 / 240 (69 %)
Total pins	58 / 80 (73 %)
Total virtual pins	0
UFM blocks	0 / 1 (0 %)

Рис.12. Результаты компиляции проекта на CPLD семейства MAX II.

При реализации модуля на ПЛИС было задействовано 165 логических ячеек и 58 ножек. К ПЛИС семейства MAX II относятся микросхемы с числом логических ячеек от 240 до 2000 и количеством ножек 100 и более, чего вполне достаточно для реализации проекта на одной из микросхем семейства MAX II.

Для оценки сохраненного изображения была спроектирована программа на языке DELPHI 7,

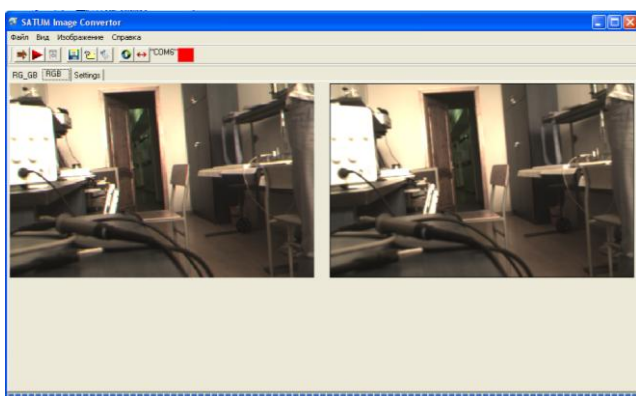


Рис.13. Пример программы-конвертора изображения.

которая позволяет передавать с компьютера команды на захват изображения и передачу данного изображения на компьютер, а также конвертирование изображения из формата RGGGB в формат RGB 8:8:8 и сохранение картинки в формате BMP. Пример использования данной программы приведен на рис.13.

VI. Заключение

В результате проделанной работы была спроектирована подсистема орбитальной фотосъемки студенческого наноспутника SATUM. Был получен функционально законченный модуль. Основным достоинством проекта является то, что можно сохранять изображение в локальной памяти в заданном формате и передавать изображение на компьютер по беспроводному интерфейсу. Пропускная способность модуля eZ430-RF2500 составила 100 Кбит/с, что гораздо ниже скорости необходимой для передачи фотографии в режиме реального времени. Пропускной способности модуля достаточно для передачи в режиме реального времени аудио данных или фотографий небольшого размера.

Литература

- [1] "Prism Project", Nakasuka Laboratory, The University of Tokyo, Intelligent Spase System Laboratory, <http://www.space.t.u-tokyo.ac.jp/prism/about-e.html>
- [2] eZ430-RF2500 Development Tool, User's Guide SLAU277. Texas Instruments ,2007.