

УДК 621.391

СИСТЕМА ФОТОГРАФИРОВАНИЯ, ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ИЗОБРАЖЕНИЙ СО СТУДЕНЧЕСКОГО НАНОСПУТНИКА SATUM

С. С. Грицков, И. В. Чебан, к. т. н. Т. В. Шестакова, к. т. н. Ю. А. Костин

Технический университет Молдовы
Республика Молдова, г. Кишинев
gritscov@gmail.com

В работе рассматривается проектирование системы фотографирования студенческого наноспутника SATUM. Представлены блок-схема и алгоритм функционирования системы фотосъемки, а также — результат реализации данного проекта на базе CPLD. Спроектированная и отлаженная система фотографирования позволит передавать изображения со спутника на Землю в режиме реального времени.

Ключевые слова: спутник, обработка и передача изображения, сенсор фотографирования, кросс-плата.

Проектирование студенческих микро- и наноспутников в настоящее время является актуальной задачей. Современная элементная база и программные средства позволяют реализовать данные проекты за достаточно небольшие сроки (несколько лет) и умеренные финансовые средства (от нескольких сотен тысяч до нескольких миллионов долларов) по сравнению со стоимостью средних и больших спутников. Микро-, нано- и пикоспутники можно отнести к малым спутникам. Их основными функциями является сбор данных с различных датчиков, связь по GPS (Global Positioning System — система глобального позиционирования) и фотографирование определенных участков Земли. Из известных малых спутников можно упомянуть немецко-малайзийский микроспутник LAPAN и японский студенческий пикоспутник PRISM, целью которых является фотографирование определенных участков Земли [1]. В республике Молдова также разрабатывается студенческий наноспутник, целью которого является фотографирование территории республики Молдова. Данный проект носит название “SATUM” (Satelit Universitar Moldovenesc — молдавский университетский спутник). Фотографии со спутника, в отличие от спутников LAPAN и PRISM, должны передаваться на Землю в режиме реального времени, что выдвигает определенные требования к системе фотографирования и передачи изображения. Разработка данного проекта является комплексной задачей. В данной работе будет рассмотрен макет системы фотографирования нано спутника SATUM.

Разработка аппаратной части системы фотографирования

Для реализации системы фотографирования студенческого нано спутника SATUM была применена CPLD (программируемая логическая интегральная схема) семейства MAX II фирмы Altera. Применение CPLD позволяет реализовать разнообразные модули на базе одного кристалла. В качестве локальной памяти применено статическое ОЗУ (оперативное запоминающее устройство), необходимое для хранения одного изображения. Вспомогательным модулем является микроконтроллер семейства MSP430, который предназначен для настройки параметров сенсора фотосъемки.

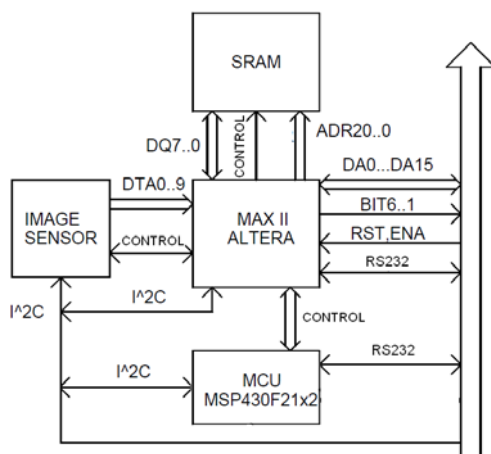


Рис.1. Блок-схема системы захвата изображения

Система (рис. 1) функционирует следующим образом: модуль MCU MSP430 выполняет изначальную установку необходимых параметров сенсора фотографирования. Модуль «MAX II» осуществляет запись изображения из сенсора фотографирования в память, чтение

Модуль «MAX II» осуществляет запись изображения из сенсора фотографирования в память, чтение

сохраненного изображения из памяти и передачу его следующей системе спутника (блок обработки/модуляции изображения). Модуль памяти SRAM — статическая память объемом в 6 Мбайт для хранения одного изображения. Модуль IMAGE SENSOR — сенсор фотографирования. При выборе данного сенсора необходимо учитывать и выбор объектива, так как сенсор фотографирования с объективом определяют разрешающую способность системы фотографирования, а также фотографируемую площадь участка Земли (рис. 2). По техническому заданию необходимо, чтобы разрешающая способность была не хуже 25 м, а фотографируемая площадь — не менее 10×10 км.

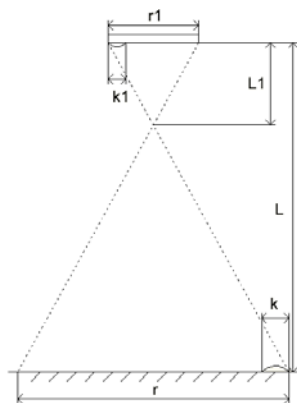


Рис. 2. Определение разрешающей способности и площади фотографирования системы фотосъемки наноспутника

На рис. 2 введены обозначения: r — область Земли, которая попадает в поле зрения объектива; r_1 — размер матрицы сенсора фотографирования (количество пикселей×размер одного пикселя); L — расстояние до Земли; L_1 — фокусное расстояние объектива; k_1 — размер одного пикселя; k — размеры минимального объекта, который может быть различим на фотографии.

В системах фотосъемки малых спутников переходят к использованию сенсоров фотографирования на основе КМОП-структур, которые позволяют выполнять основные обработки изображений в самом сенсоре, что уменьшает требования к аппаратной сложности системы фотографирования [2].

В качестве объектива был выбран «МС 3М-5СА» с фокусным расстоянием 50 см, а в качестве сенсора фотографирования — OV5633 с разрешением 2640×1960 и размером пикселя 1,75×1,75 мкм. Разрешение системы фотографирования рассчитывается по формуле

$$k = \frac{k_1(L-L_1)}{L_1} \quad (1)$$

Для расчета площади фотографирования можно применить формулу

$$r = \frac{r_1(L-L_1)}{L_1} \quad (2)$$

Параметры сенсора (если высота орбиты спутника $L=700$ км) будут следующими: разрешение 2,45 м, площадь фотографирования 6,5×4,7 км, что практически удовлетворяет требуемым условиям.

На основе блок-схемы, представленной на рис. 1, была спроектирована принципиальная электрическая схема и плата печатного монтажа системы фотографирования. Размеры собранной платы составили 110×110 мм (рис. 3).

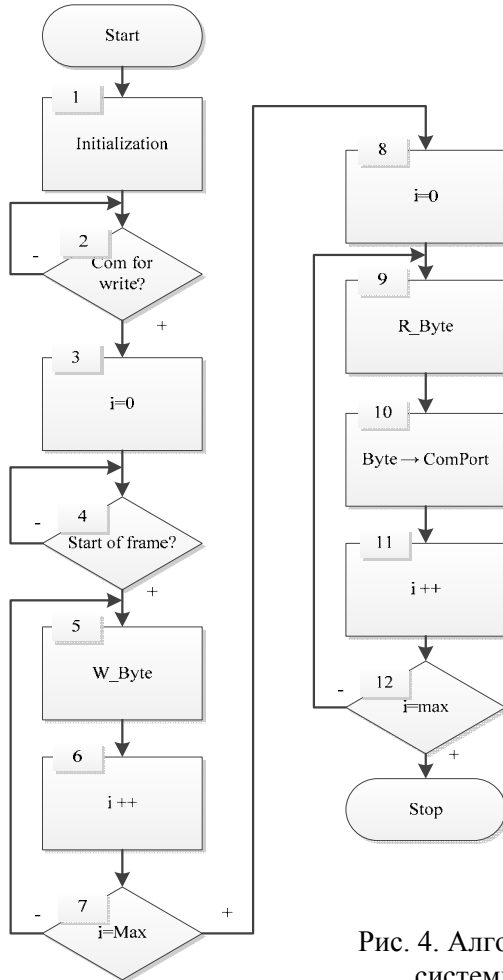
Система фотографирования функционирует следующим образом (рис. 4). При включении питания осуществляется установка всех модулей в исходное состояние (блок 1). Далее ожидается команда (блок 2) с компьютера на запись (макет будет подключаться к компьютеру для отладки). После получения команды на запись обнуляется счетчик байтов (блок 3) и ожидается начало кадра (блок 4). С началом нового кадра записывается текущий байт изображения в SRAM (оперативное запоминающее устройство) (блок 5) и увеличиваются на единицу показания счетчика байтов (блок 6). Если счетчик байтов досчитал до максимума (блок 7), то есть записалось все изображение в SRAM, то счетчик снова обнуляется (блок 8).



Рис. 3. Плата печатного монтажа системы фотографирования

После записи начинается процесс чтения каждого байта из SRAM (блок 9) и передача его на компьютер (блок 10). Показания счетчика байтов увеличиваются (блок 11), пока не будет передано все изображение на компьютер (блок 12). На этом запись и передача одного изображения на компьютер завершается. Если необходимо получить следующее изображение, функционирование алгоритма повторяется, начиная с блока 2.

В результате языкового описания проекта на языке VHDL в системе проектирования Quartus II 9 был разработан проект управления системой фотографирования. RTL-диаграмма проекта, полученная в результате компиляции и синтеза схемы, представлена на рис. 5.



Функционирование проекта для CPLD заключается в следующем: при приеме команды с компьютера на фотографирование модуль Connect_To_PC (1) дает команду модулю Write_Mem (2) о том, что необходимо записать изображение. Модуль Write_Mem осуществляет все необходимые предварительные настройки и ожидает начала нового кадра. Когда начинается новый кадр, CPLD пересылает данные с сенсора в память, формируя при этом соответствующие адреса (модуль Adr_Counter) (3) и управляющие сигналы (модуль Write_Mem), необходимые для записи данных в память. После окончания записи данных в память осуществляется их чтение и передача при помощи модуля Connect_To_PC на компьютер со скоростью 921600 бит/с.

Ресурсы, затраченные на реализацию проекта на CPLD, составили: количество логических ячеек — 157 (65%), количество ножек микросхемы — 59 (74%).

Рис. 4. Алгоритм функционирования системы фотографирования

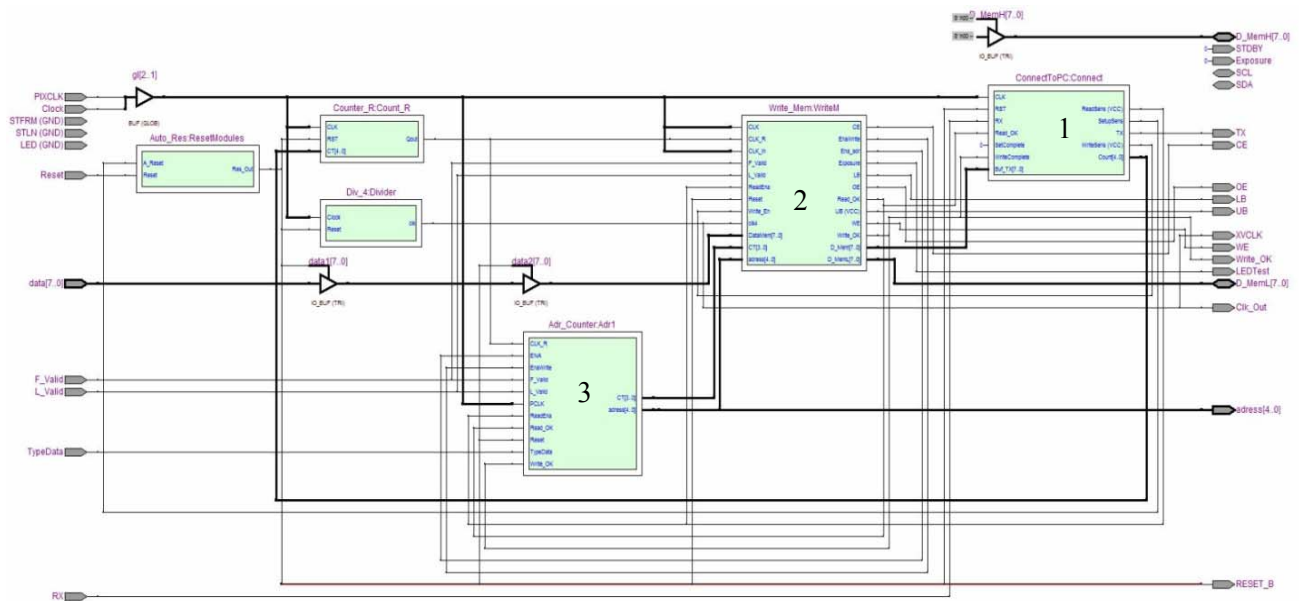


Рис. 5. Представление конфигурации CPLD на структурно-функциональном уровне

Разработка вспомогательного модуля системы фотографирования

Для отладки системы фотографирования необходимо иметь возможность подключать данную систему к компьютеру, на котором можно проводить анализ сфотографированных изображений. На рис. 6 представлена блок-схема вспомогательного модуля (будем называть его в дальнейшем кросс-платой), который обеспечивает плату системы фотографирования необходимыми напряжениями питания. Кросс-плата содержит разъемы для подключения дополнительных плат (к примеру, модулятора), а также конвертор на основе микросхемы FT232, позволяющий передавать сфотографированные изображения на компьютер через интерфейс USB. Размеры собранной кросс-платы составили 200×120 мм.

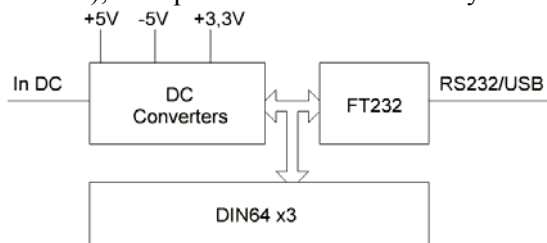


Рис. 6. Блок-схема кросс-платы

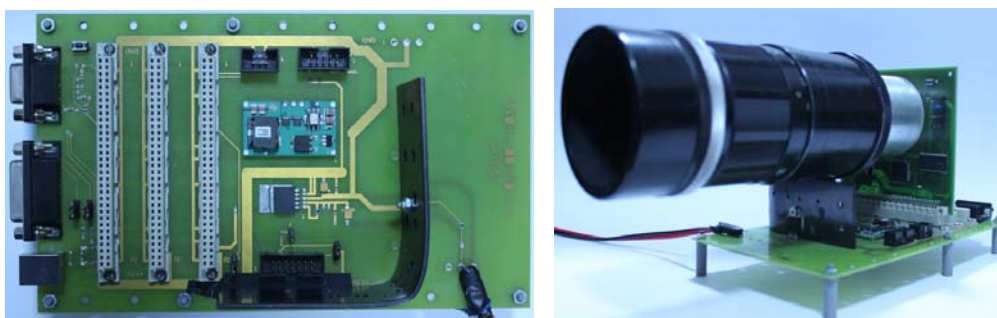


Рис. 7. Кросс-плата (слева) и система фотографирования с данной платой в ансамбле (справа)

При функционировании отлаженных плат можно передавать сфотографированные изображения на компьютер. Время передачи одного изображения составляет примерно 45 секунд.

В результате проделанной работы был спроектирован макет системы для орбитальной фотосъемки со студенческого наноспутника SATUM. Выбранная элементная база позволит получать с наноспутника фотографии с разрешением 2,45 м (минимально различимый участок Земли) и захватываемым в поле зрения участком Земли 6,5×4,7 км. Спроектированный макет может подключаться как к компьютеру, так и к иным модулям, например к модулятору. В данном случае передача данных может осуществляться на скорости до 20 Мбайт/с, что обеспечит возможность передачи изображений в режиме реального времени.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. "Prism Project", Nakasuka Laboratory, The University of Tokio, Intelligent Spase System Laboratory, 10.12.2012, <http://www.space.t.u-tokyo.ac.jp/prism/about-e.html>
2. Zarnowski J., Pace M., Jorner M. Active — pixel CMOS sensors improve their image //Laser Focus World.— 1999, July.— P.111—114.

S. S. Gritcov, I. V. Ceban, T. V. Sestakov, Yu. A. Costin

The system of taking, processing and transmitting images from the SATUM student nano satellite.

This paper presents the development the of photography system of the SATUM student nano satellite. A flowchart and an algorithm of the photography system operation are presented, as well as the result of this project based on the CPLD. The designed and organized photography system allows to transmit the images from the satellite to the Earth in real-time mode.

Keywords: *satellite, photography sensor, control, backplane pcb.*