

Цифровая камера для регистрации атмосферных грозовых разрядов миссии «ЧИБИС-М»

А. В. Бондаренко¹, И. В. Докучаев¹, В. А. Котцов²

¹ООО «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ», ²Институт космических исследований РАН

В статье приводится описание бортовой цифровой фотокамеры (ЦФК **RT-1020DC-G**) для регистрации и изучения новых физических механизмов в грозовых атмосферных разрядах. ЦФК входит в состав комплекса научной аппаратуры (КНА) «Гроза», размещённой на микроспутниковой платформе «Чибис-М». Съёмка выполняется в кольцевом цикле наблюдения с обработкой, отбором и запоминанием грозовых вспышек в автоматическом режиме, так по синхронизации от приборов электромагнитной регистрации событий.

Введение

В последние десятилетия в атмосфере Земли был зарегистрирован целый ряд новых физических атмосферных явлений в корне изменивших наше представление о грозовых разрядах:

- С космических обсерваторий RHESSI и COMPTON были зарегистрированы мощные импульсы гамма-излучения, идущие от Земли с энергией десятками килоджоулей. Установлена пространственная и временная корреляция с радиоизлучением высотных молний;
- Зарегистрирована генерация коротких ~ 1 мкс одиночных радиоразрядов, приводящих к излучению радиоимпульсов сверх высокой мощности в грозовых облаках на больших высотах (13 – 20 км);
- В наземных наблюдениях исследованы вспышки гамма-излучения, ассоциированные с грозовым электрическим полем [1].

Молния представляет собой мощный электрический разряд, который происходит в нижних слоях атмосферы, рис. 1.



Рис. 1. Молнии в атмосфере Земли

Для появления такого разряда необходимо, чтобы в обкладках атмосферного конденсатора, образованного облаками и земной поверхностью, накопилась значительная разность потенциалов. Считается, что молния возникает как пробой при достижении некоторого порогового значения.

Специалисты отмечают в этой теории одно слабое место – расчётное значение порогового поля на порядок превосходит то, которое реально наблюдают при грозовых разрядах. А. В. Гуревич и его коллеги из Физического института им. П.М. Лебедева РАН (ФИАН) считают, что процесс разряда запускают высокоэнергетические частицы космического излучения. Они назвали его пробоем на убегающих электронах. Этот процесс представляет собой лавинообразное размножение быстрых электронов с характерной энергией 0.1...10 МэВ. В атмосфере он возникает в постоянном электрическом поле на порядок меньше обычного. По результатам наблюдений гамма всплесков во время грозы была выдвинута гипотеза, что при возникновении молний выделяется большое количество гамма квантов. Экспериментальная проверка этих гипотез представляет достаточно сложную задачу, которая требует наблюдения процессов образования молний и определения синхронности возникновения событий [1].

На Российских географических широтах гроза – явление достаточно редкое, наиболее часто грозы возникают в экваториальной области. Эффективное изучение этих явлений возможно с космических аппаратов. На рисунке показан пример фотоснимка грозового атмосферного разряда, снятого космонавтами с борта МКС, рис. 2. На снимке хорошо видна вспышка грозового разряда, однако для решения нашей задачи требуется проведение более сложного комплекса наблюдений.



Рис. 3. Снимок грозового атмосферного разряда с борта МКС

Научная аппаратура

Для исследования этих грозовых атмосферных процессов был разработан уникальный комплекс научной аппаратуры (КНА «Гроза», грант РФФИ 06-02-08076-офи), размещённый на микроспутниковой платформе «Чиби́с-М». Сам микроспутник разработан в Специальном конструкторском бюро космического приборостроения ИКИ РАН.

В состав КНА «Гроза» входят приборы:

- Рентген-гамма-детектор на диапазон 50...500 КэВ,
- Ультрафиолетовый детектор на диапазон 300...450 нм,
- Радиочастотный анализатор РЧА – 20...50 МГц,
- ЦФК оптического диапазона с пространственным разрешением 300 м,
- Магнитно-волновой комплекс с процессором спектрального анализа, индукционным магнетометром, волновым зондом и феррозондовым магнитометром;
- Блок накопления данных,
- Передатчик научной информации [2].

Цифровая камера

Входящая в состав КНА «Гроза» цифровая камера, разработанная совместно ООО «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ» (разработка электроники и программного обеспечения) и ИКИ РАН (разработка конструкции, сборка, испытания) и предназначена для изучения этих новых физических механизмов в грозовых атмосферных разрядах, рис. 3.

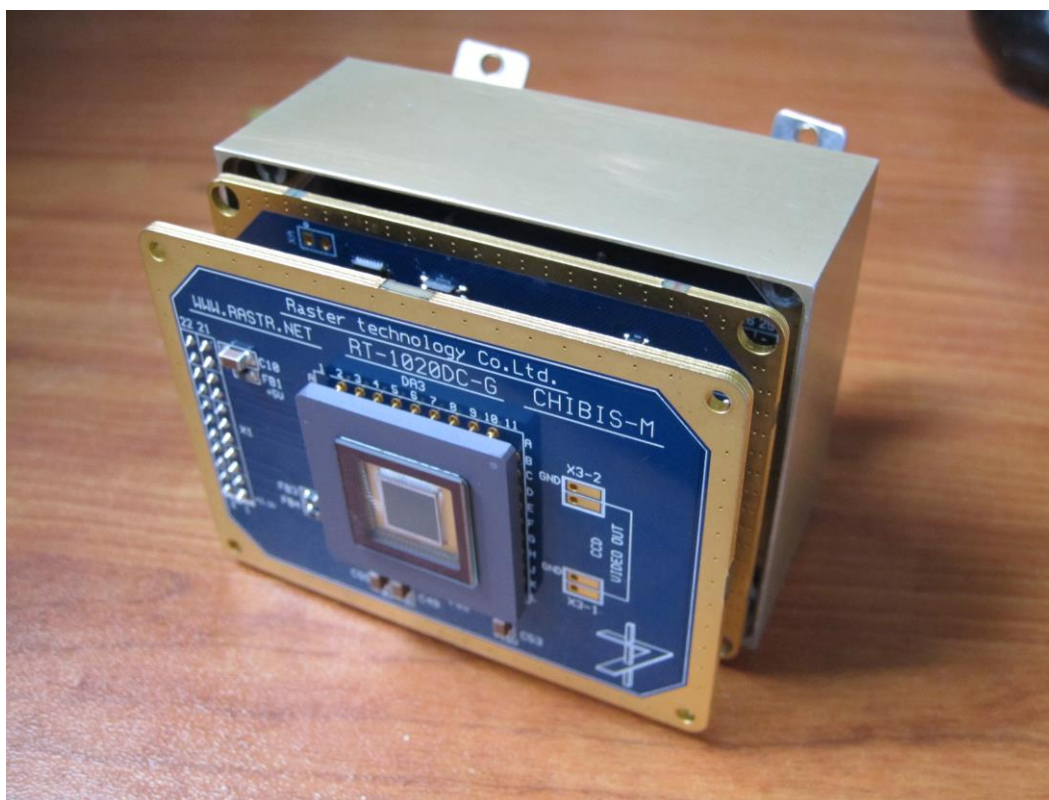


Рис. 3. Цифровая камера RT-1020DC-G

Для этого ЦФК должна выполнять съёмку в кольцевом цикле наблюдения с обработкой, отбором и запоминанием грозовых вспышек по синхронизации от приборов электромагнитной регистрации одновременных событий. Представленная камера, рис. 3 – достаточно сложное электронное устройство, которое должно вести постоянное наблюдение, выделять и

фиксировать вспышки молний, определять их координаты и, что самое главное, идентифицировать их с одновременно наблюдаемыми физическими явлениями.

Цифровая фотокамера представляет собой устройство получения полутоновых высококачественных изображений со встроенным видеопроцессором реального времени. Реализованный на ПЛИС DSP-процессор способен выполнять различные функции обработки видеоинформации и телеметрии. [4].

ЦФК содержит входную оптику, блок фотоприёмника на ПЗС матрице, DSP-процессор реального времени для выполнения операций с видеоинформацией, блок запоминания изображений, интерфейсы обмена данными, управления с резервированием и блок вторичного питания.

Структурная схема ЦФК

Структурная схема связей функциональных блоков фотокамеры показана на рис. 4 и 5. Эта схема даёт представление о составе блоков, характере их взаимодействия и степени сложности рассматриваемого устройства.

Для формирования изображения в фотокамере используется объектив «Астрар-6» с фокусным расстоянием 18 мм, угловое поле зрения 30 град. Разрешение объектива при контрасте 70% и относительном отверстии $\frac{1}{2}$ - не хуже 70 пар линий/мм. Для повышения информативности спектральная характеристика камеры ограничивается селено-кадмиевым светофильтром типа ЖС или ОС.

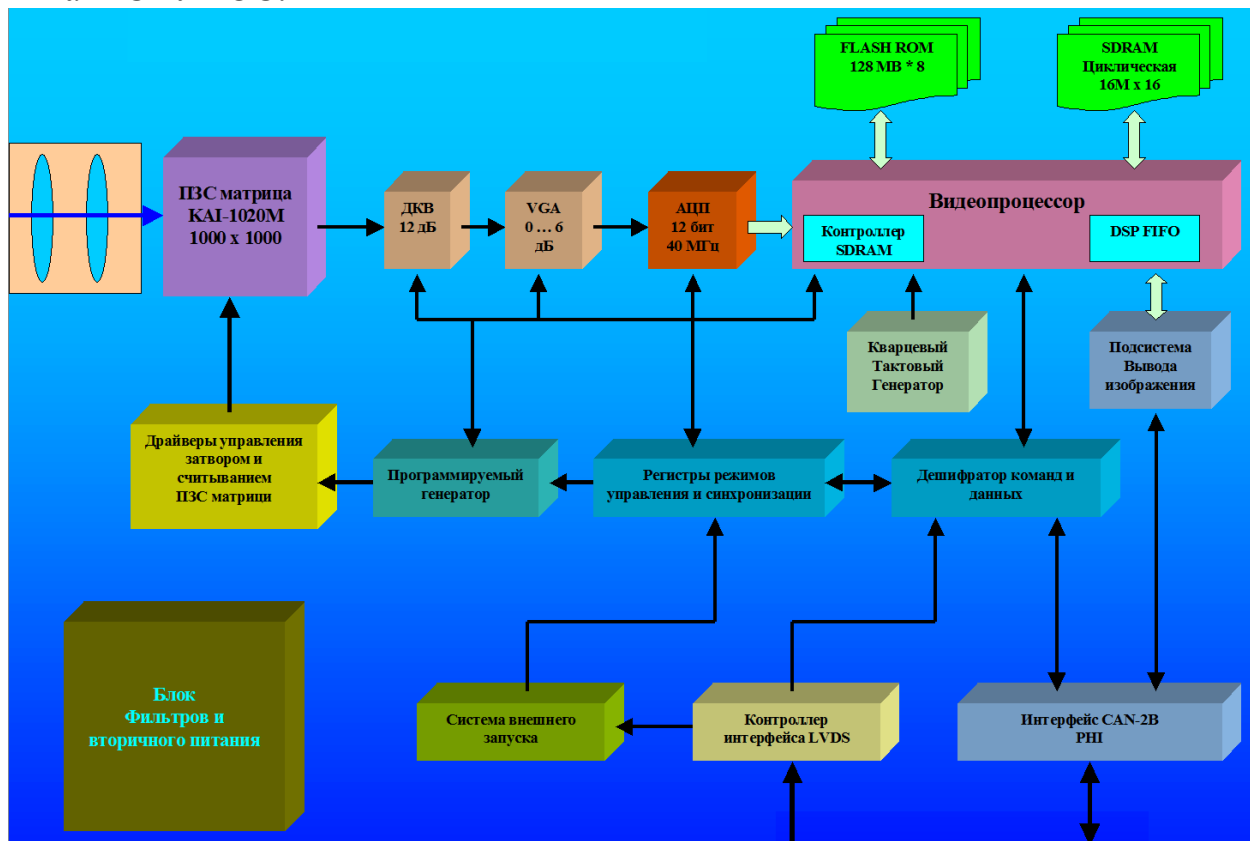


Рис. 4. Блок-схема цифровой камеры RT-1020DC-G

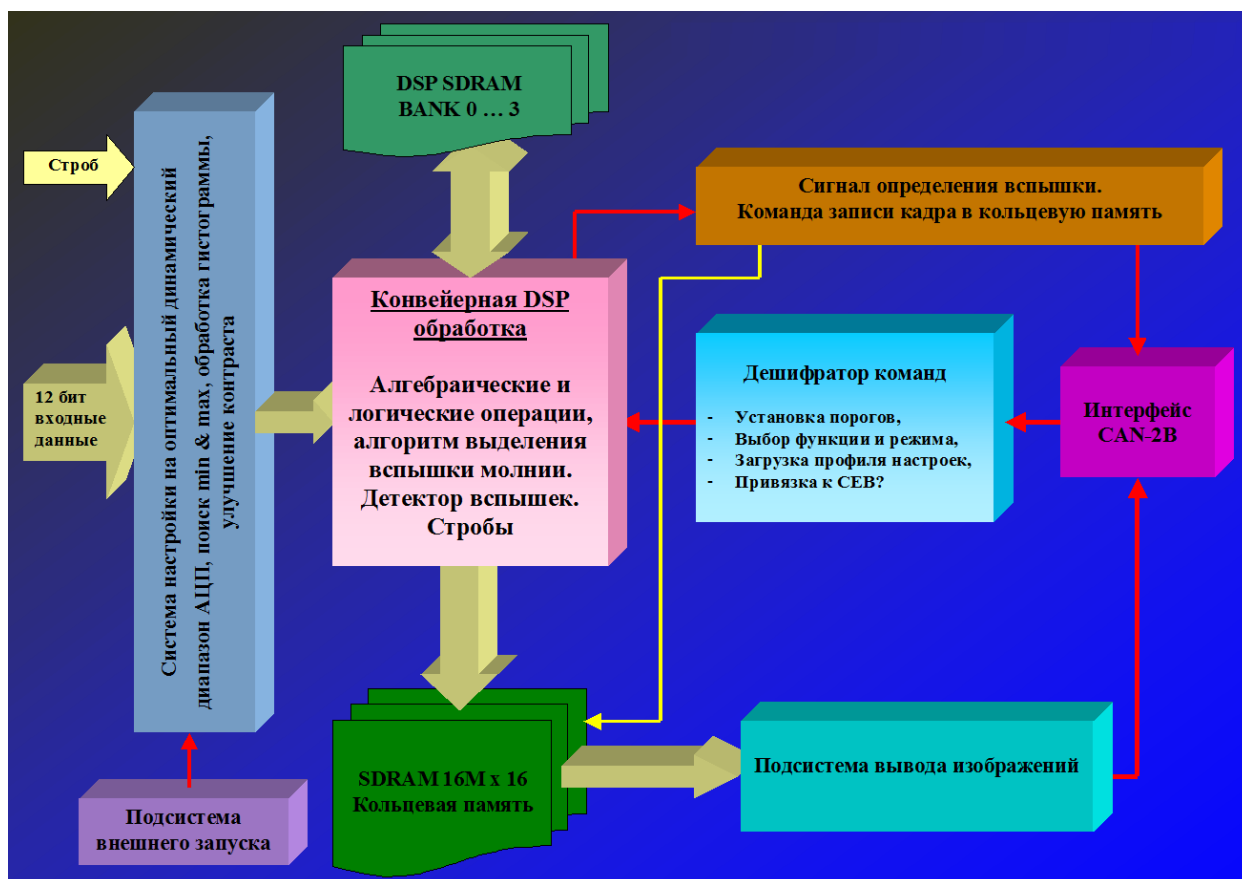


Рис. 5. Блок-схема модуля DSP обработки цифровой камеры RT-1020DC-G

Аппаратная реализация фотокамеры выполнена на ПЗС матрице Kodak KAI-1020M, АЦП – 12 бит с входным процессором сигнала, объём ОЗУ – 4 М x 16 слов, для запоминания кадров используется Flash память объёмом 128 МБ. ЦФК работает от бортового источника электропитания постоянного тока с напряжением 12 В и гальванической развязкой, потребление – не более 5 Вт.

Обмен данными и управление осуществляется по интерфейсу CAN-2B, скорость передачи данных – до 1 Мб/сек. Для фиксации событий от внешнего триггера используется интерфейс LVDS. Камера включается и выключается подачей либо снятием питания от бортовой сети 12 В.

Изображение, полученное с ПЗС матрицы (при формате кадра 1024 x 1024 пикселя x 16 бит), имеет пространственное разрешение 1000 x 1000 элементов с 12 битным разрешением по яркости (4096 градаций оттенков серого) и частотой кадров в секунду не менее 12 (используется один видео канал).

Использование режима объединения пикселей (биннинга) позволяет увеличить чувствительность матрицы в 2 раза при соответствующем снижении пространственного разрешения. В режиме биннинга 1 x 2 (2 x 2) - разрешение 1024 x 512 (512 x 512) с частотой не менее 24 кадров/с. Использование режима биннинга позволяет увеличить чувствительность матрицы в 2 раза при снижении пространственного разрешения.

Использование 12 бит АЦП позволяет повышать контрастность изображений в 2, 4 и 8 раз, за счёт таблиц перекодировки LUT и настроек АЦП [3].

Цифровая обработка изображений

За основу изучения физических механизмов в грозовых атмосферных разрядах могут быть приняты алгоритмы обработки изображений в реальном масштабе времени, реализованные ранее для решения подобных задач в цифровых видеосистемах и вычислителе **RT-106MX**, разработанных коллективом ООО «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ» [5].

Для обнаружения вспышки грозового атмосферного разряда можно использовать алгоритм анализа последовательности из трех кадров и детектор движения.

Анализируется последовательность из трёх кадров (F_{i-1} , F_i , F_{i+1}) и пороговый уровень сигнала P . Пороговый уровень задаётся БВК и может меняться в зависимости от факторов окружающей среды. Аппаратно проверяется условие: если разность кадров

$$(F_i - F_{i-1} - P > 0) \ \& \ (F_{i+1} - F_i - P < 0),$$

то принимается решение о наличии вспышки (импульса).

Для регистрации вспышек молний используется известный и отработанный нами алгоритм детектора движения. Кадр изображения делится на три прямоугольные сектора (строба) по вертикали. Строб на изображении может быть выделен пунктирной линией; в каждом стробе, заданном прямоугольной областью кадра изображения, проводятся статистические измерения. Затем для каждого строба вычисляется свой порог превышения.

Аппаратно по изображению могут выполняться: определение минимального и максимального значения пикселя внутри строба статистики за время ввода одного кадра, определение количества пикселей, превышающих заданный порог обнаружения, интервал разности значений одинаково расположенных пикселей в двух кадрах изображения – текущего и эталонного. Эта информация позволяет изучать динамику изменения изображения в определённом пространственном направлении, проводить селекцию статических и динамических изображений.

Интервал разности сравниваемых значений яркости – порог обнаружения – задаётся БВК по модулю в одном из регистров ЦФК. В качестве эталонного может использоваться предыдущий кадр изображения или любой кадр из потока, записанный в DSP банк.

В результате работы алгоритма по импульсу превышения происходит запись изображения с грозовой вспышкой во флэш память камеры.

При плохом качестве изображения, из-за малого соотношения сигнал/шум, можно применить рекурсивные методы обработки видеоинформации.

Конструкция цифровой фотокамеры выдерживает вибрационные механические нагрузки при выводе на орбиту контейнера с микроспутником транспортным кораблем «Прогресс», а элементы устройства обеспечивают надёжное длительное функционирование в условиях околоземного космического пространства.

Аналогичная по своим параметрам камера, прошедшая все испытания, но с интерфейсом **RS-422** установлена на манипуляторе грунтозаборного комплекса космического корабля проекта «Фобос-Грунт» [6, 7].

Литература

1. Миссия «Чибиc-M». Сборник трудов выездного семинара. Под редакцией Р.Р. Назирова. Россия, Таруса, 24-27 февраля 2009 г.
2. А. В. Гуревич, Л. М. Зелёный, С. И. Климов. «Научные задачи миссии «Чибиc-M». Сборник трудов выездного семинара. Под редакцией Р.Р. Назирова. Россия, Таруса, 24-27 февраля 2009 г.
3. Бондаренко А. В., Докучаев И. В., Князев М.Г. «Расчёт пороговых значений потока излучений и освещённости для ПЗС матриц Kodak KAI-1003M, KAI-1020M и Philips FTF-3020M». Журнал CСTV focus, № 4, 2006 г., с. 24.
4. Бондаренко А. В., Докучаев И. В., Князев М. Г. Телевизионная видеокамера с цифровой обработкой в реальном времени. Журнал «Современная электроника» № 3, 2006 г., стр. 50.
5. Техническая документация на цифровые ПЗС камеры. М.: ООО «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ», 2010, URL: www.rastr.net/product/digit-cam.html
6. Телевизионные системы манипуляторного комплекса проекта «Фобос-Грунт». А. В. Бондаренко, И. В. Докучаев, О. И. Кораблёв, А. Б. Киселёв, О. Е. Козлов, В. А. Котцов, Ж.-П. Бибринг, Ж. Ж. Фурмонд. Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы определения ориентации и навигации КА». Россия, Таруса, 22-25 сентября 2008 г.
7. Микроскоп-спектрометр проекта «Фобос-Грунт». О. И. Кораблёв, А. В. Бондаренко, А. Ю. Иванов, О. Е. Козлов, В. А. Котцов, А. Б. Ульянов, Ж.-П. Бибринг, Ж. Ж. Фурмонд. Там же.