

Цифровая камера миссии «ЧИБИС-М»

Андрей Бондаренко, Игорь Докучаев, Владимир Котцов (Москва)

В статье приводится описание бортовой цифровой фотокамеры для регистрации и изучения новых физических механизмов в грозовых атмосферных разрядах. Камера входит в состав комплекса научной аппаратуры «Гроза», размещённой на микроспутниковой платформе «Чибис-М». Съёмка выполняется в кольцевом цикле наблюдения с обработкой, отбором и запоминанием грозовых вспышек в автоматическом режиме, 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 идущие от Земли импульсы гамма-излучения с энергией в десятки килоджоулей. Установлена их пространственная и временная корреля-

ция с радиоизлучением высотных молний;

- зарегистрирована генерация коротких (~1 мкс) одиночных разрядов, приводящих к излучению радиоимпульсов сверхвысокой 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 (см. рис. 1). Для появления такого разряда необходимо, чтобы в облаках 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, который представляет собой лавинообразное размножение быстрых электронов с характерной энергией 0,1...10 МэВ. В атмосфере он возникает в постоянном электрическом поле, которое на порядок меньше обычного. По результатам наблюдений гамма-всплесков во время грозы была выдвинута гипотеза, что при возникновении молний выделяется большое количество гам-

ма-квантов. Экспериментальная проверка этих гипотез представляет достаточно сложную задачу, которая требует наблюдения за процессами образования молний и определения синхронности возникновения событий [1].

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

НАУЧНАЯ АППАРАТУРА

Для исследования грозовых атмосферных процессов был разработан уникальный комплекс научной аппаратуры (КНА «Гроза», грант РФФИ 06-02-08076-офи), размещённый на микроспутниковой платформе «Чибис-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 на диапазон 20...50 МГц;
- цифровая фотокамера (ЦФК) оптического диапазона с пространственным разрешением 300 м;
- магнитно-волновой комплекс с процессором спектрального анализа, индукционным магнетометром, волновым зондом и феррозондовым магнетометром;
- блок накопления данных;
- передатчик научной информации [2].

ЦИФРОВАЯ КАМЕРА

Входящая в состав КНА «Гроза» цифровая камера, разработанная



Рис. 1. Фотография грозового атмосферного разряда

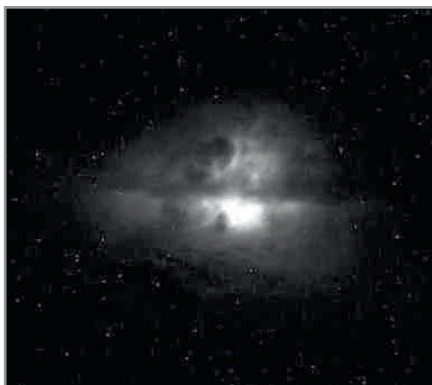


Рис. 2. Фотоснимок грозового атмосферного разряда, сделанный с борта МКС

совместно ООО «РАСТР Технологии» (разработка электроники и программного обеспечения) и ИКИ РАН (разработка конструкции, сборка, испытания), предназначена для изучения новых физических механизмов в грозовых атмосферных разрядах. Представленная камера – 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. 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.

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

Собственно фотокамера содержит входную оптику, блок фотоприёмника на ПЗС-матрице, ЦПОС, блок запоминания изображений, интерфейсы обмена данными и управления с резервированием, блок вторичного электропитания.

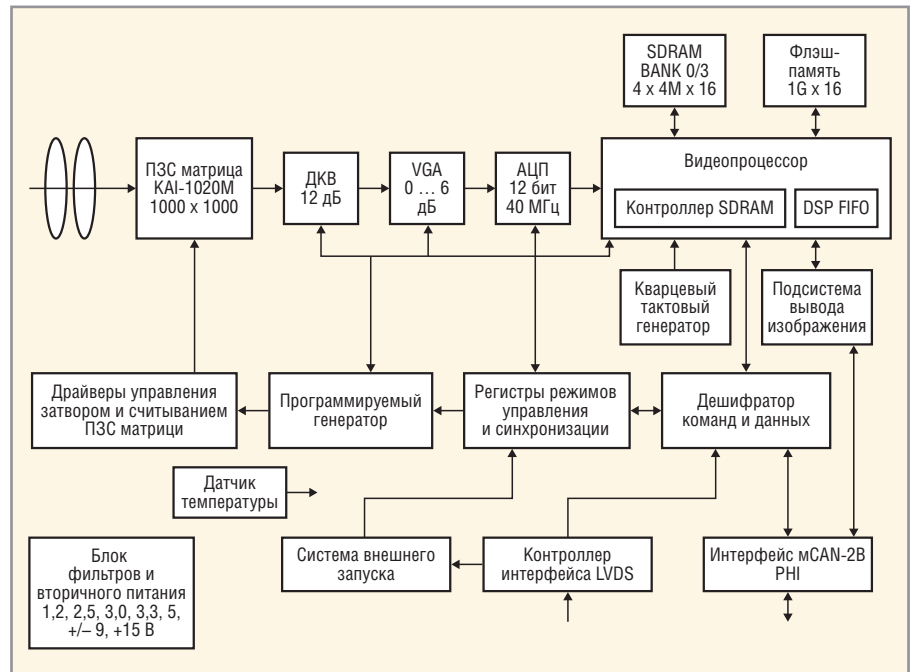


Рис. 3. Структурная схема фотокамеры

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЦФК

Структурная схема фотокамеры показана на рисунке 3; она 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 и угловым полем зрения 30 град. Разрешение объектива при контрасте 70% и относительном отверстии 1/2 составляет не менее 70 пар линий/мм. Для повышения информативности спектральная характеристика камеры

ограничена селено-кадмиевым светофильтром типа ЖС или ОС.

Фотоприёмное устройство камеры (см. рис. 4) выполнено на ПЗС-матрице типа Kodak KAI-1020M, 12-разрядном АЦП с входным процессором сигнала и ОЗУ объёмом 4М × 16 бит. Для запоминания кадров используется флэш-память объёмом 128 Мб. ЦФК работает от бортового источника электропитания постоянного тока с напряжением 12 В и гальванической развязкой, потребляемая мощность составляет не более 5 Вт.

Обмен данными и управление осуществляется по интерфейсу CAN-2B

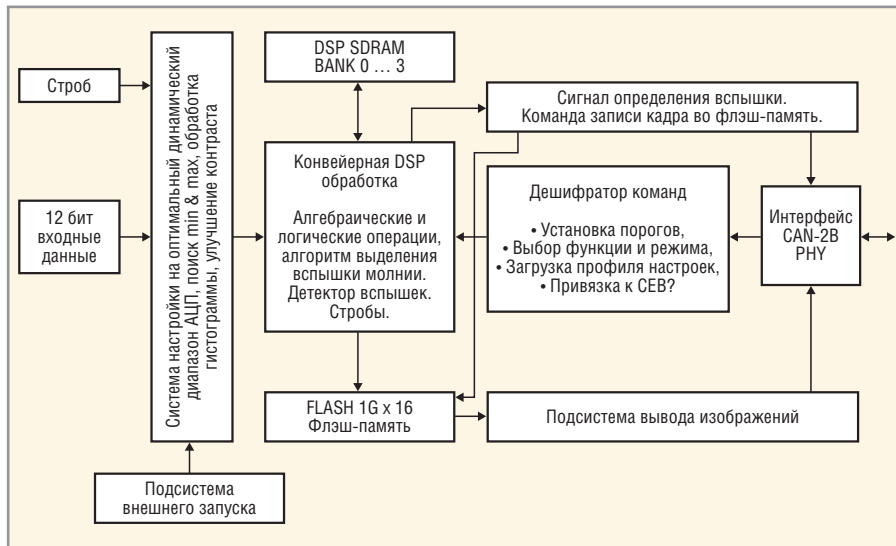


Рис. 4. Аппаратная реализация фотокамеры

(скорость до 1 Мбит/с). Для фиксации событий от внешнего запуска 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 × 1024 пикселя и глубине 16 бит), имеет пространственное разрешение 1000 × 1000 элементов с 12-битным разрешением по яркости (4096 градаций оттенков серого) и частотой кадров в секунду не менее 12 (используется один видеоканал).

Использование режима объединения пикселей (биннинга) позволяет увеличить чувствительность матрицы в два раза при соответствующем снижении пространственного разрешения. В режиме биннинга 1 × 2 (2 × 2) разрешение матрицы составляет 1024 × 512 (512 × 512) пикселей с частотой не менее 24 кадров/с. Использование 12-разрядного 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 взяты алгоритмы обработки изображений в реальном масштабе времени, которые реализованы 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 трёх кадров и детектор движения. Анализируется последовательность кадров (Fi-1, Fi, Fi+1) и пороговый уровень сигнала P, который задаётся бортовым вычислительным комплексом (БВК) и может изменяться в зависимости от факторов окружающей среды. Аппаратно проверяется условие: если разность кадров (Fi - Fi-1 - P > 0) & (Fi+1 - Fi - P < 0), то принимается решение о наличии вспышки (импульса).

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

Аппаратно может быть выполнен следующий анализ изображения:

- 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 – текущем и эталонном.

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

При плохом качестве изображения (малом отношении сигнал/шум) можно применить рекурсивные методы обработки видеoinформации.

Конструкция цифровой фотокамеры выдерживает вибрационные механические нагрузки при выводе на орбиту контейнера с микроспутником транспортным кораблём «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].

ЛИТЕРАТУРА

1. Миссия «Чибис-М». Сборник трудов выездного семинара. Под ред. Р.Р. Назирова. Таруса, 2009.
2. Гуревич А.В., Зелёный Л.М., Климов С.И. Научные задачи миссии «Чибис-М». Сборник трудов выездного семинара. Под ред. Р.Р. Назирова. Таруса, 2009.
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. CCTV focus. 2006. № 4. С. 24.
4. Бондаренко А.В., Докучаев И. В., Князев М.Г. Телевизионная видеокамера с цифровой обработкой в реальном времени. Современная электроника. 2006. № 3. С. 50.
5. Техническая документация на цифровые ПЗС-камеры и программное обеспечение. ООО «РАСТР Технолоджи». 2010. <http://rastr.net/product/digit-cam.html>.
6. Бондаренко А.В., Докучаев И.В., Коралёв О.И., Киселёв А.Б., Ковлов О.Е., Котиров В.А., Бибринг Ж.-П., Фурмонд Ж.Ж. Телевизионные системы манипуляторного комплекса проекта «Фобос-Грунт». Сб. тр. Всероссийской научно-технической конф. «Современные проблемы определения ориентации и навигации КА». Россия, Таруса, 22–25 сентября 2008 г.

