

УДК 520.8; 520.3

СТРАТЕГИЯ ПОИСКА ОПТИЧЕСКИХ ТРАНЗИЕНТОВ В ШИРОКОУГОЛЬНОМ МОНИТОРИНГЕ

© 2010 Г. Бескин¹, С. Бондарь², С. Карпов¹, В. Плохотниченко¹,
А. Гуарниери³, К. Бартолини³, Д. Греко⁴, А. Пиччиони³

¹Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

²НИИ Прецизионного Приборостроения, Нижний Архыз, 369167 Россия

³Universita' di Bologna, Via Zamboni, 33 - 40126 Bologna, Italy

⁴INAF – Astronomical Observatory of Bologna, Bologna, 40127 Italy

Поступила в редакцию 24 февраля 2010 г.; принята в печать 12 марта 2010 г.

Обсуждается стратегия поиска быстрых оптических транзиентов, сопровождающих гамма-всплески, при мониторинге широких полей. Описаны аппаратура и методы обработки наблюдательных данных, позволяющие обнаруживать оптические вспышки ярче 10–11 зв. величины с временным разрешением 0.13 с. Обсуждаются перспективы создания аппаратуры, а также методов поиска и исследования оптических транзиентов различной природы в широких полях.

Ключевые слова: *методы астрономических наблюдений, приборы и инструменты*

1. ВВЕДЕНИЕ

Систематическое изучение переменности ночного неба на субсекундной временной шкале является важной, но по сей день практически нерешенной задачей. Необходимость такого рода наблюдений для поиска нестационарных объектов неизвестной заранее локализации отмечалась еще Бонди [1]. Исследования в этой области проводились и ранее [2, 3], но из-за технических сложностей в них достигалось либо высокое временное разрешение на уровне десятков микросекунд при мониторинге малых, размерами 5'–10', полей, либо использовалось временное разрешение 5–10 секунд при широких (20°–30°) полях. Функционирующие в настоящее время широкоугольные мониторинговые системы, такие как WIDGET [4], RAPTOR [5], BOOTES [6] и Pi of the Sky [7], имеют большие поля зрения при достаточно хорошем пределе обнаружения, но низкое временное разрешение, что затрудняет их использование для регистрации быстрых транзиентов.

Приведем несколько примеров — вспышки звезд типа UV Cet, передние фронты которых могут длиться 0.2–0.5 секунды [8], 30% гамма-всплесков, продолжающихся менее 2 секунд, тогда как продолжительность отдельных деталей их кривых блеска может быть меньше одной миллисекунды [9]. Представляют также значительный интерес очень быстрые метеоры, возможно, приходящие из-за пределов Солнечной системы [10].

Еще одной задачей, требующей проведения регулярных широкопольных наблюдений с высоким временным разрешением является мониторинг околоземного пространства. Траектории большого числа спутников и огромного массива малых частиц космического мусора достаточно быстро меняются, причем скорости этих объектов весьма велики, потому наблюдения их обычными методами представляют значительные сложности.

Начиная с конца 1990-х годов, мы разрабатываем стратегию оптического мониторинга с высоким временным разрешением областей небесной сферы, сравнимых по размерам с полями зрения космических гамма-телескопов. Изначально предлагалось использовать инструменты с большими зеркалами относительно низкого качества [11, 12], например, черенковские телескопы и солнечные концентраторы, снабженные массивами фотоумножителей с временным разрешением вплоть до микросекунд. Затем, однако, мы остановились на варианте широкоугольной камеры с объективом относительно малого диаметра, использующей в качестве детектора электронно-оптический преобразователь, эффективно укорачивающий фокус, в комбинации с быстрой малошумящей ПЗС-матрицей. Прототип такой системы, FAVOR (FAst Variability Optical Registrar), введен в строй в 2003 году и расположен поблизости от 6-м телескопа БТА Специальной астрофизической обсерватории РАН [13, 14]. Аналогичная по конструкции камера TORTORA (Telescopio Ottimizzato per la

Таблица 1. Основные работающие на данный момент оптические широкоугольные мониторинговые системы. Для камер FAVOR и TORTORA предельное проникание соответствует обнаружению транзиента с уровнем 3σ на отдельном кадре и может отличаться от реального предела обнаружения при использовании разностного метода для анализа данных в реальном времени

Название	Поле зрения, град.	Разрешение, сек.	Проникание зв. величина
WIDGET	62 × 62	5	10 ^m
RAPTOR A/B	40 × 40	60	12 ^m
RAPTOR Q	180 × 180	10	10 ^m
BOOTES	16 × 11	30	12 ^m
BOOTES-AllSky	180 × 180	30	10 ^m
Pi of the Sky	33 × 33	10	11.5 ^m
AROMA-W	25 × 35	5–100	10.5 ^m –13 ^m
MASTER-VWF	20 × 21	5	11.5 ^m
MASTER-Net	30 × 30	1	9 ^m
FAVOR	16 × 24	0.13	10 ^m –11.5 ^m
TORTORA	24 × 32	0.13	9 ^m –10.5 ^m

Таблица 2. Технические параметры камеры TORTORA

Главный объектив		ЭОП		ПЗС-матрица	
Диаметр	120 мм	Фотокатод	S20	Модель	VS-СТТ285-2001
Фокус	150 мм	Диаметр	90 мм	Размеры	1388 × 1036 пикселей
D/F	1/1.2	Усиление	150	Масштаб	81"/пиксель
Поле зрения 24 × 32 град		Масштабирование	7.7	Экспозиция	0.13–10 секунд
		Квантовый выход	10%	Размер пикселя	6.45 мкм

Ricerca dei Transienti Ottici Rapidi) [15] установлена в 2006 г. на монтажке роботического телескопа REM [16] в обсерватории La-Silla (ESO, Чили) и вместе с ним составляет двухтелескопный комплекс TORTOREM [17]. Именно с помощью этой камеры было обнаружено и детально исследовано оптическое излучение уникального гамма-всплеска GRB080319B, известного также как Naked-Eye Burst [18–20].

В данной статье описывается схема и особенности реализации камеры TORTORA, приводятся некоторые результаты ее работы, а также обсуждается проект широкопольной мониторинговой системы следующего поколения, способной не только обнаруживать гораздо более слабые транзиенты, но и проводить их многоцветную фотометрию и поляриметрию.

2. ОПИСАНИЕ ШИРОКОУГОЛЬНЫХ КАМЕР FAVOR И TORTORA

Параметры камер FAVOR и TORTORA в сравнении с другими существующими на данный момент мониторинговыми системами приведены в Таблице 1. Видно, что лишь они сочетают высокое временное разрешение с относительно большим размером поля зрения.

Схема камеры TORTORA приведена на Рис. 1, ее параметры — в Таблице 2, а изображение — на Рис. 2. Прибор состоит из защитной бленды (1), главного объектива (2), узла его фокусировки (3), электронно-оптического преобразователя (4), используемого для масштабирования и усиления изображения, оптики переброса (5), быстрой малозумящей ПЗС-матрицы (6) и шасси с защитным кожухом (7). Камера установлена на боковой поверхности трубы роботического телескопа

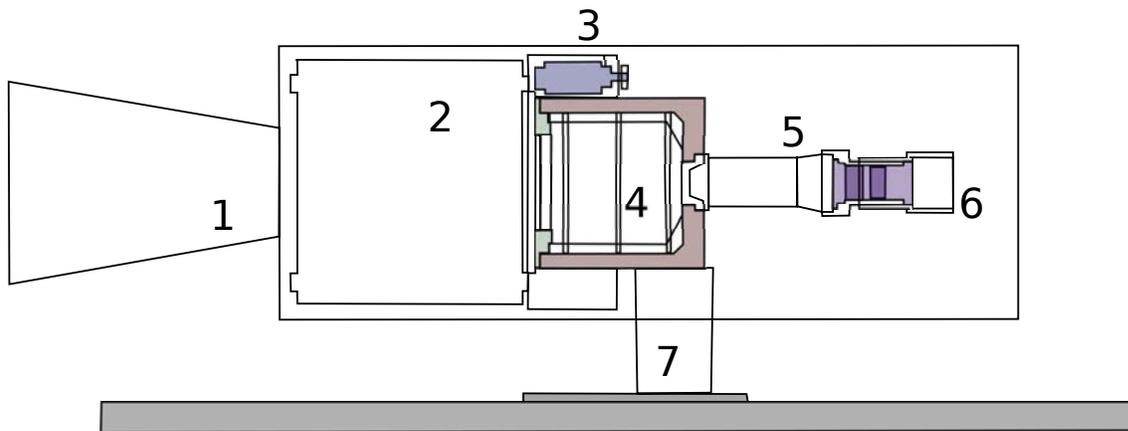


Рис. 1. Схема устройства камеры TORTORA. 1 — защитная бленда, 2 — главный объектив, 3 — узел фокусировки главного объектива, 4 — электронно-оптический преобразователь, 5 — оптика переброса и узел фокусировки ПЗС-матрицы, 6 — быстрая ПЗС-матрица, 7 — шасси и защитный кожух

РЕМ, имеющего альт-азимутальную монтировку (см. Рис. 2).

Быстрая ПЗС-матрица регистрирует 7.5 кадров в секунду при времени экспозиции 0.128 секунды, интервалы же между последовательными экспозициями пренебрежимо малы. Эта информация распространяется по локальной гигабитной сети и сохраняется в дисковом RAID-массиве объемом 1 Терабайт. Поток данных при этом составляет около 20 Мб/с, следовательно, информация, полученная за ночь наблюдений, может быть сохранена лишь в течение одного дня.

В процессе наблюдений данные также независимо передаются на выделенный компьютер для обработки в реальном времени при помощи специализированного программного обеспечения, работающего под управлением ОС Linux. При этом выделяются и классифицируются новые транзиентные объекты различных типов и отсеиваются уже известные в результате сравнения информации о них с данными из каталогов спутников и звезд.

3. МЕТОДИКА ОБНАРУЖЕНИЯ ТРАНЗИЕНТОВ

Широкоугольные мониторинговые камеры высокого временного разрешения могут применяться для обнаружения и исследования различных классов транзиентных источников — переменных звезд, сверхновых, активных галактических ядер, событий микролинзирования, покрытий звезд планетами — с постоянными, хотя и неизвестными заранее координатами. С другой стороны, такие инструменты пригодны и для изучения движущихся объектов — искусственных спутников, элементов космического мусора, комет, астероидов и метеоров. Для решения этих задач были разработаны специализированные алгоритмы обработки данных.

В связи с высокой интенсивностью потока наблюдательной информации практически невозможно использовать для ее анализа в реальном времени стандартные фотометрические пакеты. По этой причине мы разработали специальный быстрый метод выделения транзиентов, основанный на изучении статистического поведения интенсивности излучения I в каждом пикселе изображения с течением времени. Ее текущее значение сравнивается с бегущим средним $\langle I \rangle = \sum I/N$, оцениваемым по некоторому количеству (скажем, $N = 100$, что соответствует временному окну в 13 секунд) предшествующих кадров, и выборочной дисперсией $\sigma_I = \sqrt{(\sum I^2 - (\sum I)^2/N)/(N-1)}$, и определяется значимость A его отклонения от среднего $A = (I - \langle I \rangle)/\sigma_I$. Затем для пикселей, имеющих высокую значимость, проверяется их принадлежность к пространственно-связным кластерам таковых — наблюдаемым объектам. Некоторые из них — к примеру, одинопиксельные события — отсеиваются как шумовые.

После выделения всех объектов на отдельном кадре проводится сравнение их положений с траекториями транзиентов, выделенных ранее (все объекты предполагаются движущимися, неподвижные при этом считаются движущимися с нулевой скоростью). Обнаружение объекта на трех последовательных кадрах (за время 0.4 секунды) достаточно для суждения о его принадлежности к одному из трех возможных классов — “шумовое” событие, если объект исчезает после одного кадра, движущийся объект, если его положение статистически значимо изменяется, либо неподвижный транзиент. Вспышки медленно движущихся высокоорбитальных искусственных спутников выделяются путем сравнения положения транзиентов с данными из регулярно обновляемых каталогов орбитальных элементов спутников [21].



Рис. 2. Изображение камеры TORTORA (слева), установленной на роботическом телескопе REM в обсерватории La-Silla (ESO, Чили).

Выделение метеоров, однако, требует несколько иного подхода, поскольку, как правило, они видны лишь на одном—двух кадрах. Более того, скорости их движения существенно выше таковых у искусственных спутников. Подобные события отождествляются по вытянутости их изображений.

Астрометрическая и фотометрическая привязки выполняются регулярно (для камеры TORTORA — раз в минуту, так как альт-азимутальная монтировка приводит к систематическому вращению поля зрения) посредством отдельной процедуры фотометрирования всех звезд на кадре при помощи программы SExtractor [22] и отождествления их в каталоге Tycho-2 [23].

Таким образом, система анализа данных в реальном времени позволяет выделять и классифицировать любые достаточно яркие оптические транзиенты в течение 0.4 секунды после их появления. Пример такой вспышки показан на Рис. 3. После обнаружения и классификации информация о событии может передаваться в сеть для проведения его детального исследования. Кроме того, все полученные в реальном времени данные о транзиенте,

включая его кривую блеска, траекторию, а также изображения его окрестностей, могут сохраняться для дальнейшего изучения.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ С КАМЕРОЙ TORTORA

Широкоугольная мониторинговая камера TORTORA эксплуатируется с июня 2006 года и примерно половину всего доступного наблюдательного времени (когда телескоп REM не выполняет плановых наблюдений) проводит мониторинг областей небесной сферы, наблюдаемых в данный момент космическим аппаратом Swift, в соответствии с телеметрической информацией, распространяемой в реальном времени по сети GCN [24].

Каждую наблюдательную ночь камера фиксирует примерно 300 метеоров и 150 пролетов спутников различной яркости.

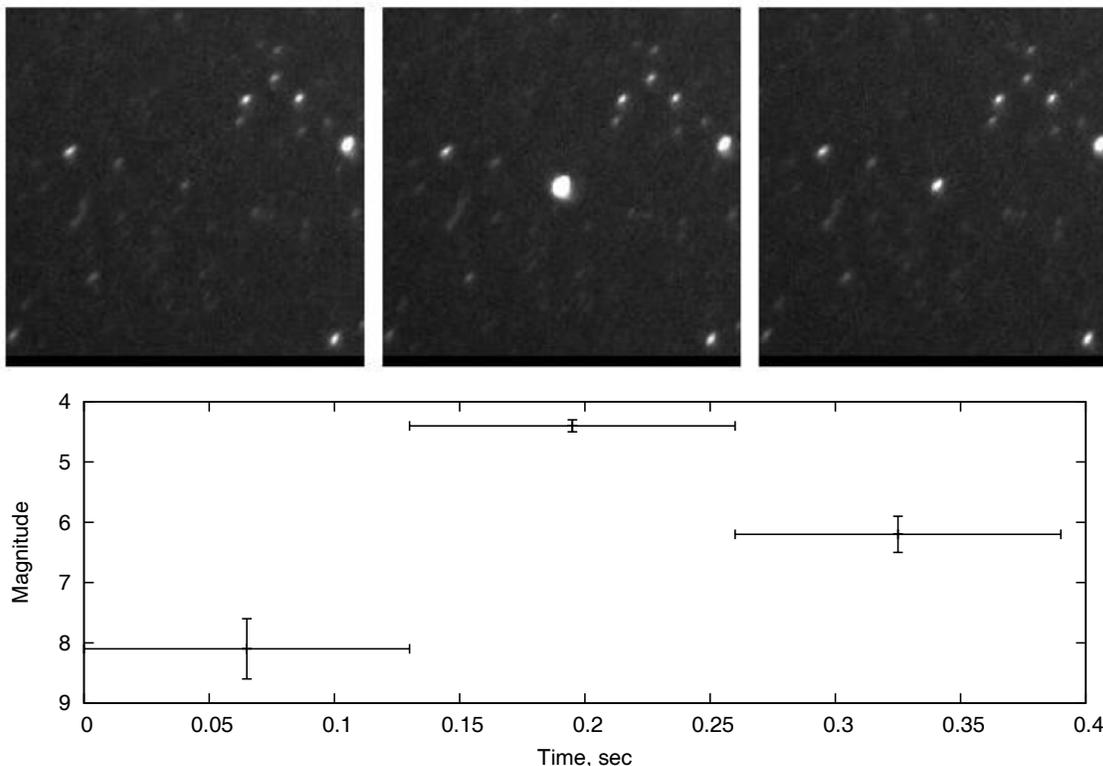


Рис. 3. Пример короткой вспышки (результат вращения высокоорбитального спутника), зафиксированной мониторинговой камерой. Полная длительность события — 0.4 секунды, оно обнаруживается на трех последовательных кадрах.

4.1. Наблюдения гамма-всплесков в реагирующем режиме

Благодаря автоматической реакции телескопа REM на сообщения об обнаружении гамма-всплесков космическими аппаратами, камера TORTORA смогла пронаблюдать области локализации трех гамма-всплесков спустя короткое время после их начала [25–27].

Сводка полученных в этих наблюдениях верхних пределов для блеска соответствующих оптических транзиентов приведена в Таблице 3. Пределы на постоянную составляющую потока были получены по суммам 100 последовательных кадров, что соответствует эффективному временному разрешению 12.8 секунды.

4.2. Наблюдения гамма-всплеска GRB 080319B

Дни 19 и 20 марта 2008 года оказались наиболее плодотворными для широкопольных мониторинговых систем по всему миру. Тогда, в течение 24 часов, были зарегистрированы 5 гамма-всплесков, один из которых, GRB080319B [28], оказался самым ярким из наблюдавшихся как в гамма, так и в оптическом диапазонах, и первым, который был независимо обнаружен наземными мониторинговыми системами. Область его локализации

на небесной сфере наблюдалась до, во время и после гамма-события камерами “Pi of the Sky” [29], RAPTOR Q [30] и TORTORA [18].

Наша камера TORTORA проводила мониторинг области всплеска GRB080319B [18, 19], начиная с 05:46:22 UT, примерно за полчаса до его начала (момент обнаружения его в гамма-диапазоне — 06:12:49 UT), в течение его существования, а также на протяжении нескольких десятков минут после его окончания. В промежутке между 06:13:13 UT и 06:13:20 UT роботический телескоп REM произвел автоматическое перенаведение по координатам, полученным со спутника Swift [28], что переместило транзиент с края поля зрения камеры в его центр.

Полученные камерой изображения были обработаны с помощью стандартной процедуры редукиции, состоящей из вычитания шумов ПЗС-матрицы и деления на плоское поле (см. Рис. 4). Измерение потоков было проведено с использованием специализированной версии метода апертурной фотометрии и кода DAOPHOT пакета IRAF для всего набора данных, за исключением промежутка перенаведения. В этой фазе изображения как объекта, так и соседних звезд были деформированы из-за существенного их смещения за время экспозиции, что значительно понизило

Таблица 3. Верхние пределы на постоянную составляющую оптического потока, а также на синусоидальную переменную компоненту блеска возможных оптических транзиентов

Всплеск	Начало наблюдений, сек.	Предел за 13 с	Диапазон частот, Гц	Верхний предел
GRB060719	59	12.4 ^m	0.01 – 3.5	15.3 ^m
GRB061202	92	11.3 ^m	0.1 – 3.5	14.0 ^m
GRB060719	118	11.3 ^m	0.01 – 3.5	16.4 ^m

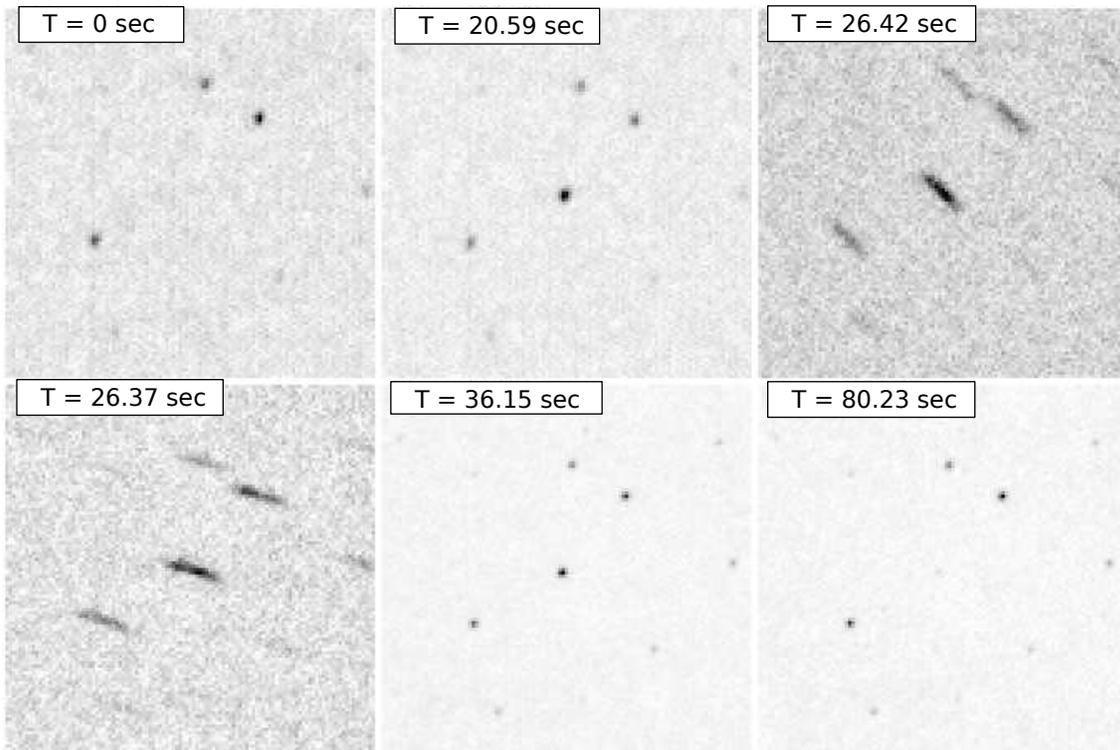


Рис. 4. Изображения оптического транзиента, связанного с гамма-всплеском GRB080319B, на разных стадиях его развития по результатам наблюдений камеры TORTORA. Приведены суммы 10 последовательных кадров с эффективным временным разрешением 1.3 секунды для момента начала гамма-события ($T = 0$ с), времени максимального блеска первого пика ($T = 20.5$ с), двух моментов в его середине ($T = 26.4$ с и $T = 28.4$ с), во время последнего пика ($T = 36$ с) и на стадии раннего послесвечения ($T = 80$ с). Размер поля составляет 2.5×2.5 градуса. Звездные профили на третьем и четвертом кадрах деформированы в процессе перенаведения роботического телескопа REM (с $T + 24$ с по $T + 31$ с), на котором установлена камера, по координатам всплеска, полученным с космического телескопа Swift. Исходное положение всплеска лежало на краю поля зрения камеры, в результате перенаведения оно сместилось к центру поля зрения, что привело к некоторому улучшению качества изображений.

отношение сигнала к шуму. Мы произвели сложные неперекрывающихся последовательностей из 10 кадров с соответствующим сдвигом, компенсирующим движение звезд. Затем мы измерили потоки от объекта и соседних звезд на суммарных кадрах при эффективном временном разрешении 1.3 секунды. Полученные инструментальные звездные величины были приведены к V-полосе джонсоновской фотометрической системы путем нормировки на расположенные поблизости звезды

каталога Tycho2 [23]. Сравнение полученной таким образом кривой блеска, приведенной на Рис. 5, с данными других мониторинговых камер, наблюдавших это событие, таких, как Pi of the sky [29] и RAPTOR [30], показало хорошее совпадение результатов.

Анализ полученных данных показал, что оптический транзиент был переменен на временах 4–9 секунд, а в течение последних 20 секунд — и на шкале около 1 секунды. Сравнение резуль-

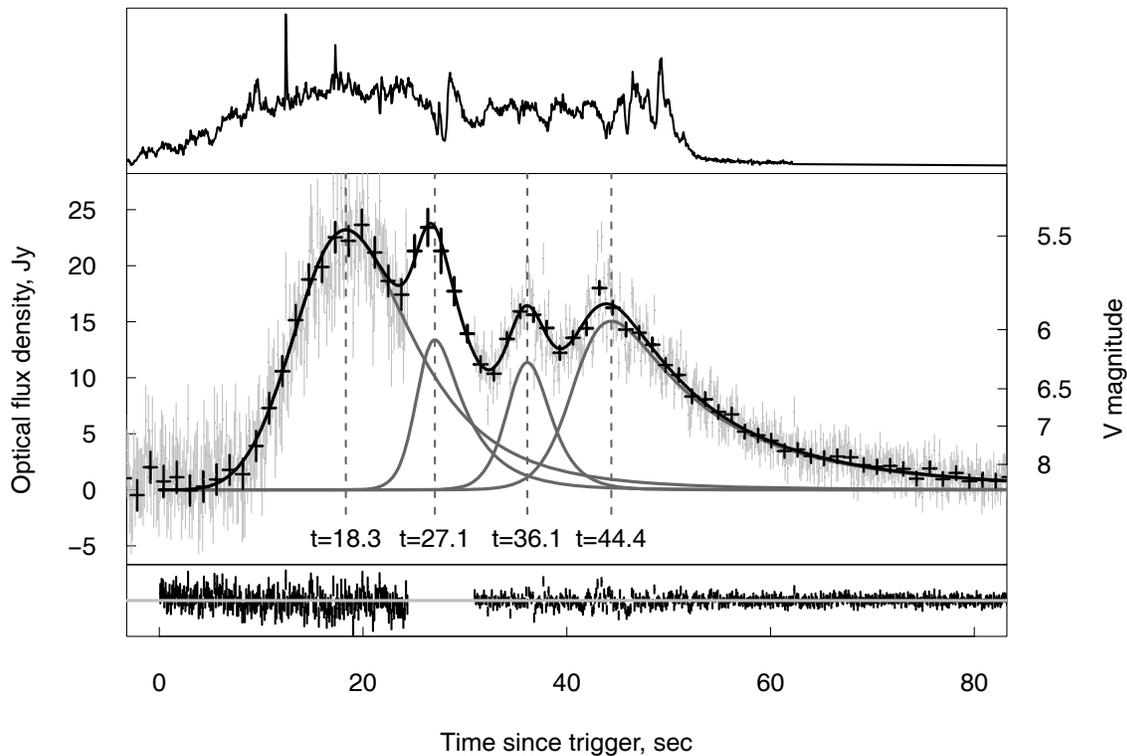


Рис. 5. Кривая блеска оптического компаньона гамма-всплеска GRB080319B по данным широкопольной камеры TORTORA. Гамма-излучение, представленное на верхней панели, начинается в момент $T \approx -4$ с и затухает на $T \approx 55$ с.

татов наших оптических и гамма-наблюдений позволило впервые обнаружить проявления циклической активности “центральной машины”, которой, по-видимому, является черная дыра с массой в несколько солнечных, окруженная массивным аккреционным диском [31, 32]. Подчеркнем, что именно сочетание высокого временного разрешения и широкого поля зрения в камере TORTORA обеспечило получение столь содержательной информации о природе гамма-всплеска [20, 28, 33].

5. ШИРОКОУГОЛЬНАЯ МОНИТОРИНГОВАЯ СИСТЕМА СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ

Очевидна необходимость дальнейшего развития методологии широкопольного поиска и исследования быстрых оптических транзиентов в двух направлениях. Во-первых, необходимо улучшить проницание системы как минимум на 2–3 звездных величины, сохраняя, или даже увеличивая размер ее поля зрения. Представляется, что оптимальный способ достижения этой цели — использование многообъективных (или многотелескопных) конфигураций, при уменьшении поля зрения отдельного инструмента и, таким образом, увеличении его углового разрешения [34]. Для уменьшения влияния шумов считывания ПЗС-матриц необходимо

либо увеличивать их квантовый выход и коэффициент усиления электронно-оптического преобразователя, либо использовать малошумящие ПЗС-матрицы с внутренним усилением. Вторым важным направлением развития является реализация возможности измерения цветов и поляризации обнаруженных транзиентов.

Одна из схем многообъективной мониторинговой системы на основе ПЗС-матриц с внутренним усилением, способной получать спектральную и поляриметрическую информацию о транзиенте, приводится ниже.

5.1. Базовый 3×3 блок

Рассматриваемый инструмент имеет модульную структуру и состоит из отдельных базовых блоков, содержащих по 9 объективов, установленных на отдельных экваториальных монтировках (см. Рис. 6). Каждый из объективов помещен в карданный подвес, управляемый двумя приводами, и может менять ориентацию независимо от остальных. Кроме того, каждый объектив снабжен набором цветных и поляризационных фильтров, которые могут вводиться в световой пучок в процессе наблюдений. Это позволяет быстро переходить от широкопольного мониторинга в одной полосе (или без фильтров) к узкопольным наблюдениям, когда

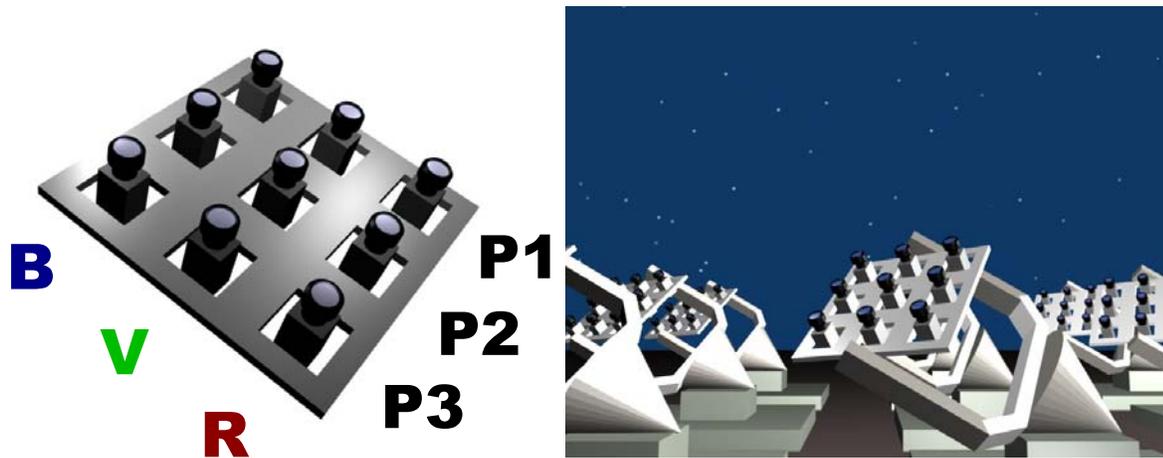


Рис. 6. Слева — базовый 3×3 блок. Каждый объектив может перенаводиться независимо от остальных и оснащен набором сменных цветowych и поляризационных фильтров, которые могут быть оперативно введены в световой пучок. Справа — примерный вид полной мониторинговой системы, состоящей из множества базовых блоков, размещенных на отдельных экваториальных монтировках.

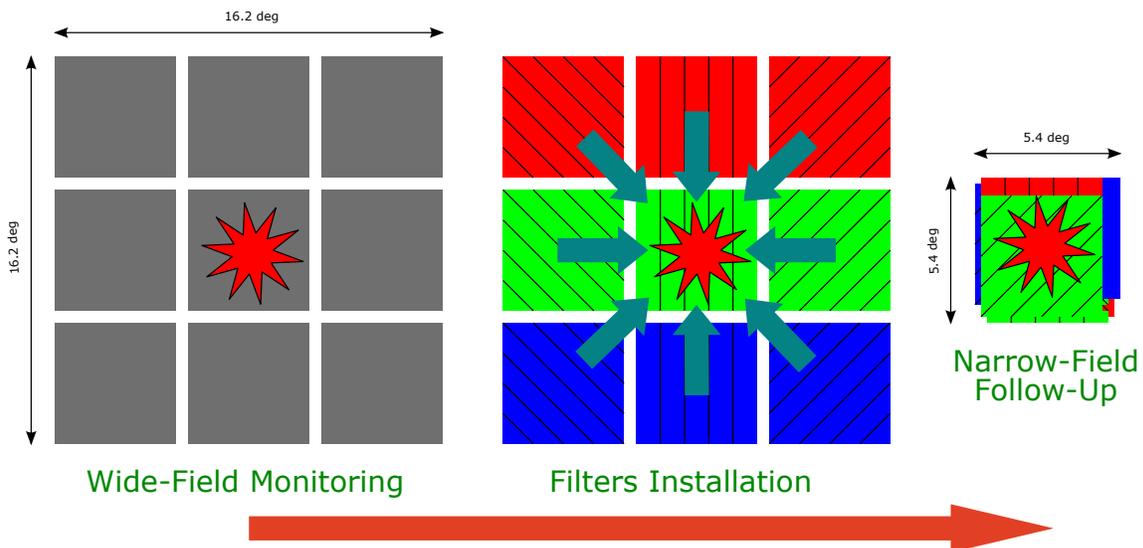


Рис. 7. Различные режимы функционирования базового блока. Слева — режим широкопольного мониторинга в белом свете либо в одном из цветowych фильтров. Посередине — введение в световой пучок цветowych и поляризационных фильтров как первый шаг после обнаружения оптического транзientа. Справа — перенаведение всех объективов на поле, содержащее транзient, для получения информации о нем в трех различных фотометрических полосах при трех ориентациях поляридов (показанных различными направлениями штриховки) одновременно. Точное время, необходимое для перехода из одного режима в другой, зависит от аппаратной конфигурации, но, ожидается, что оно не будет превосходить 0.3 секунды.

все объективы направлены на одну область, к примеру, содержащую только что обнаруженный транзient, и регистрируют ее изображения во всех возможных комбинациях цветowych и поляризационных фильтров (см. Рис. 7). Одновременное наблюдение транзientа всеми объективами в одной и той же полосе также возможно для повышения точности фотометрии за счет суммирования данных разных каналов.

Каждый объектив снабжен быстрой ПЗС-матрицей с внутренним усилением, имеющей

пренебрежимо малые шумы считывания даже на большой кадровой частоте. Возможно использование массово производимых элементов.

Поток данных, зарегистрированных в каждом канале такой системы, составляет около 20 мегабайт в секунду. Он собирается выделенным компьютером и сохраняется на его жестком диске. При этом производится анализ информации в реальном времени методом, аналогичным описанному ранее. Работа системы в целом координируется отдель-

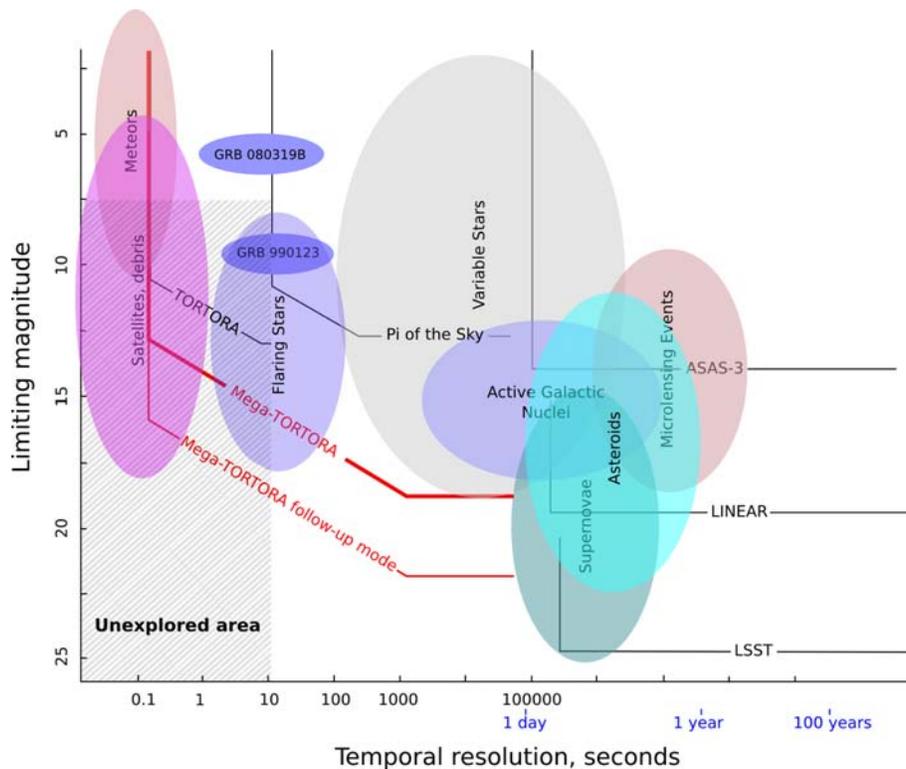


Рис. 8. Эффективность предлагаемой мониторинговой системы для наблюдений различных классов объектов в сравнении с таковой для других инструментов, как функционирующих в настоящее время (ASAS-3, LINEAR, Pi of the Sky, FAVOR/TORTORA), так и планирующихся на будущее (LSST).

ным компьютером, накапливающим сведения об обнаруженных в отдельных каналах транзиентах и управляющим сменой наблюдательных режимов.

Каждый базовый блок в мониторинговом режиме при использовании объектива Marshall Electronics имеет поле зрения около 260 квадратных градусов и пропускание в B -полосе $\sim 14.5^m$ за 0.1 секунды (для объектива Canon — 730 квадратных градусов и 13^m соответственно). Сложение последовательных кадров позволяет достичь пропускания до 17^m при экспозиции 10 секунд, и до 19.5^m — при экспозиции 1000 секунд (для Canon — 15.2^m и 18^m соответственно). В исследовательском режиме при наблюдениях отдельных объектов размер поля зрения уменьшается до 30 квадратных градусов (81 кв. град. для Canon), а пропускание зависит от выбора комбинации спектральных и поляризационных фильтров, варианты которых приведены в Таблице 4. Помимо этого, для ярких событий возможна реализация режима высокого временного разрешения в случае, если ПЗС-матрица поддерживает считывание в узком окне на повышенной кадровой частоте (к примеру, для матрицы Andor iXon^{EM}+888 достижима кадровая частота вплоть до 65 Герц в поле 128×128 без биннинга, либо вплоть до 310 Гц — с биннингом 8×8).

5.2. Система в целом

Полная система состоит из набора базовых блоков, установленных на отдельных экваториальных монтировках и работающих совместно. Их количество может быть произвольным — чем больше, тем полнее покрытие небесной сферы и лучше пропускание в узкопольном режиме.

К примеру, конфигурация из 8 базовых блоков покрывает 2100 квадратных градусов на небе одновременно в широкопольном мониторинговом режиме, что позволяет проводить обзор всей доступной полусферы дважды за ночь при получасовой экспозиции каждой площадки. В узкопольном режиме, при совместном анализе данных всех 72 каналов, пропускание достигает от 17.2^m до 19.7^m (от 15.7^m до 18.2^m для Canon) при эффективных экспозициях от 0.1 до 10 секунд. Объем данных, получаемых за ночь такой системой, составляет около 40 Терабайт, которые обрабатываются в реальном времени по мере поступления. Эффективность системы при наблюдениях объектов различных типов иллюстрирует Рис. 8, где показаны возможности некоторых существующих и проектируемых широкопольных мониторинговых систем.

При стоимости объектива 2 тысячи евро, ПЗС-матрицы — 45 тысяч, одного компьютера — тысяча евро и монтировки — 26 тысяч, стоимость базового

Таблица 4. Ожидаемое проникание для базового блока в узкопольном режиме при различных комбинациях фотометрических и поляризационных фильтров. Оценки сделаны для объектива Marshall Electronics; для Сапоп все пределы на 1.5^m хуже

Экспозиция, с	Без фильтра / В	В + 3 поляризации	BVR	BVR + 3 поляризации
0.1	15.7 ^m	13.0 ^m	15.0 ^m	12.5 ^m
10	18.2 ^m	15.2 ^m	17.5 ^m	15.0 ^m
1000	20.7 ^m	17.9 ^m	20.0 ^m	17.5 ^m

блока оказывается около 500 тысяч евро, а конфигурация из 8 блоков — около 5 миллионов евро.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обнаружение и детальное исследование оптического компаньона самого яркого в оптическом диапазоне гамма-всплеска GRB080319В камерой TORTORA подчеркивает особую важность как проведения постоянного мониторинга больших областей небесной сферы, так и использования приемников и методов высокого временного разрешения при поиске коротких оптических транзиентов неизвестной заранее локализации. Полученные результаты свидетельствуют в пользу дальнейшего развития избранной стратегии подобных наблюдений, следующим шагом которой может являться предлагаемая нами схема широкопольной мониторинговой системы нового поколения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа была поддержана грантами РФФИ (№ 04-02-17555, 06-02-08313 и 09-02-12053), INTAS (04-78-7366), CRDF (No RP1-2394-MO-02), грантом Progetti Pluriennali 2003 Болонского университета, программой Президиума РАН, а также грантом Президента РФ для поддержки молодых ученых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. H. Bondi, Q.J.R. Astron. Soc. **11**, 443 (1970).
2. B. Schaefer, Astronom. J. **11**, 1363 (1985).
3. B. Schaefer, Astronom. and Astrophys. **174**, 338 (1987).
4. T. Tamagawa et al., Nuovo Cimento C **28**, 771 (2005).
5. K. N. Borozdin et al., Proceedings of the SPIE **4847**, 344 (2002).
6. A. J. Castro-Tirado et al., Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser. **138**, 583 (1999).
7. A. Burd et al., New Astronomy **10**, 409 (2005).
8. V. F. Shvartsman et al., Soviet Astronomy Letters **14**, 97 (1988).
9. S. McBreen et al., Astronom. and Astrophys. **380**, L31 (2001).
10. V. L. Afanasiev, V. V. Kalenichenko, and I. D. Karachentsev, Astrophysical Bulletin **62**, 301 (2007).
11. G. M. Beskin et al., Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser. **138**, 589 (1999).
12. D. Eichler and G. Beskin, Astrobiology **1**, 489 (2001).
13. I. Zolotukhin et al., Astronomische Nachrichten **325**, 675 (2004).
14. S. Karpov et al., Nuovo Cimento C **28**, 747 (2005).
15. E. Molinari et al., Nuovo Cimento B **121**, 1525 (2006).
16. F. M. Zerbi et al., in *Gamma-ray Bursts in the Afterglow Era*, Ed. by E. Costa, F. Frontera, and J. Hjorth (Springer-Verlag, Berlin, 2001), p.434.
17. G. Beskin et al., Nuovo Cimento C **28**, 751 (2005).
18. S. Karpov et al., GRB Coordinates Network Circular **7452**, 1 (2008).
19. J. L. Racusin et al., Nature **455**, 183 (2008).
20. G. Beskin et al., arXiv:0905.4431
21. American department of defense satellite ephemerides database, available at <http://www.space-track.org/>.
22. E. Bertin and S. Arnouts, Astronom. and Astrophys. **117**, 393 (1996).
23. E. Høg et al., Astronom. and Astrophys. **355**, L27 (2000).
24. S. D. Barthelmy, American Institute of Physics Conference Series **428**, 129 (1998).
25. A. Guarneri et al., GRB Coordinates Network Circular **5372**, 1 (2006).
26. S. Karpov et al., GRB Coordinates Network Circular **5897**, 1 (2006).
27. S. Karpov et al., GRB Coordinates Network Circular **5941**, 1 (2006).
28. J. L. Racusin et al., GRB Coordinates Network Circular **7427**, 1 (2008).
29. M. Cwiok et al., GRB Coordinates Network Circular **7439**, 1 (2008).
30. P. Wozniak et al., GRB Coordinates Network Circular **7464**, 1 (2008).
31. S. Woosley, Astrophys. J. **405**, 273 (1993).
32. W. Zhang, S. E. Woosley, and A. Heger, Astrophys. J. **608**, 365 (2004).
33. G. Beskin et al., American Institute of Physics Conference Series **1065**, 251 (2008).
34. G. Beskin et al., Advances in Astronomy **2010**, ID 171569 (2010).

OPTICAL TRANSIENT SEARCH STRATEGY VIA WIDE-FIELD MONITORING**G. Beskin, S. Bondar, S. Karpov, V. Plohotnichenko, A. Guarnieri, K. Bartolini, D. Greko, A. Piccioni**

We discuss the search strategy of fast optical transients accompanying gamma-ray bursts in wide-field monitoring. We describe the instrumentation and methods of observational data reduction, allowing to detect optical flashes brighter than 10–11 stellar magnitudes with temporal resolution of 0.13 s. The prospects of both instrument engineering, as well as development of techniques to search and investigate optical transients of various nature in wide fields are also discussed.

Key words: *Stars: gamma-ray burst: general*