

ОТЧЕТ ЗА 2006 ГОД ПО ПРОЕКТУ 06-02-16902-а

Изучение высотных распределений атмосферной оптической турбулентности для оценки перспектив использования адаптивных оптических систем

В.Г. Корнилов

Аннотация

Выполнена полная подготовка комбинированного прибора MASS/DIMM для измерения высотного распределения оптической турбулентности в земной атмосфере. Для этого прибор снабжен быстродействующей ПЗС камерой и разработано соответствующее программное обеспечение под ОС GNU/Linux. Планируется начать измерения с этим прибором на месте установки нового телескопа 2.5м южнее г.Кисловодска. В течение 2006 г. продолжались измерения вертикального профиля оптической турбулентности с прибором MASS первого поколения, установленным на г.Майданак. С начала измерений получены данные для ≈ 95 ночей. Предварительная обработка подтверждает высокий астроклиматический потенциал этого места.

Abstract

Atmospheric optical turbulence measurements for characterization of adaptive optics effectivity.

All the stages of the preparation of the combined MASS/DIMM device for the measurement of the altitude optical turbulence distribution in the Earth atmosphere are completed. The device is equipped with a high readout rate CCD camera and the related software for the Linux OS is developed. The measurements are planned to start at the place of the installation of the new 2.5m telescope of Moscow University, 30km to the south from the Kislovodsk. During 2006, the measurement of the optical turbulence vertical profile were performed with a first-generation MASS device installed at Mt. Maydanak. The ≈ 95 night records were collected. The preliminary data processing confirms the high astroclimatic potential of the site.

ЦЕЛИ ПРОЕКТА И СТЕПЕНЬ ИХ ВЫПОЛНЕНИЯ

Объявленные ранее цели проекта на 2006 год: Известно, что данные о высотном распределении оптической турбулентности значимы как для этапа разработки, так и этапа применения адаптивных оптических систем [1]. В последнее время появились работы, оценивающие влияние этой характеристики турбулентности на точность фотометрических и астрометрических наблюдений [2]. Поэтому проект предполагает получение статистически значимого объема измерений оптической турбулентности в нескольких астропунктах, как на действующих обсерваториях, так и в перспективных местах.

К началу выполнения проекта, в нашем распоряжении имелось два прибора: Оригинальный MASS (прибор первого поколения) и комбинированный MASS/DIMM без ПЗС камеры DIMM – канала. Поэтому главной целью на 2006 г. были полная подготовка второго прибора

к проведению измерений, в частности разработка и изготовление ПЗС камеры для DIMM – канала. Дополнительно, нужно было значительно модифицировать имеющееся программное обеспечение с целью обеспечить более надежную, автоматическую работу приборов. Так как профиль турбулентности получается из индексов мерцаний решением обратной

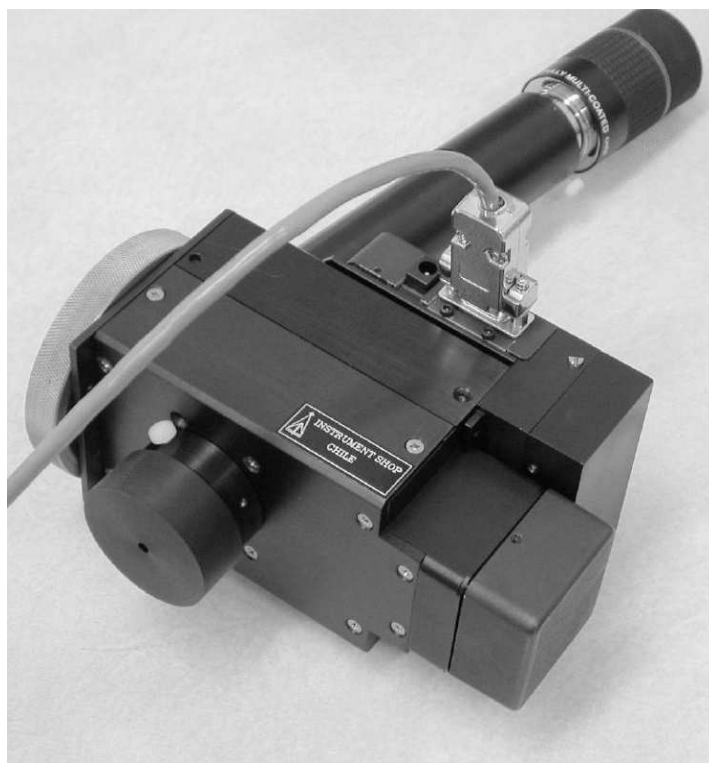


Рис. 1: Внешний вид комбинированного прибора MASS/DIMM. Вместо ПЗС камеры DIMM – канала установлена юстировочная заглушка. Фото А.Токовинина

задачи, а в случае значительной турбулентности теория плохо описывает их связь, то требовались дополнительные компьютерные модельные исследования, позволяющие получить полу-эмпирические поправочные коэффициенты.

Степень выполнения поставленных в проекте задач: Нами определен список астропунктов для исследований по проекту: 1) Майданакская обсерватория в Узбекистане, как одно из лучших мест для астрономических наблюдений по качеству изображений, 2) г. Шатджатмаз — проектируемое место установки 2.5 м телескопа ГАИШ МГУ, 3) САО РАН, г. Пастухова — как место установки самого крупного в восточном полушарии телескопа.

Наблюдения на г. Майданак были начаты еще в 2005 г. как совместный проект астрономов Ташкентского астрономического института и нашей группы. Они были продолжены и в этом году, уже при поддержке настоящего проекта. Летом этого года возникли определенные технические проблемы, в результате которых часть данных оказалась утеряна. Однако оказалось возможным продлить измерения до осени 2007 г. без разработки специальной питающей оптики для прибора MASS.

Задача подготовки комбинированного прибора MASS/DIMM также выполнена полно-

стью. Правда, мы отказались от разработки специальной ПЗС камеры, установив в DIMM – канале высококачественную индустриальную ПЗС камеру. Необходимое для DIMM – канала программное обеспечение полностью завершено [7]. Также разработана управляющая каналом MASS программа второго поколения [8].

Так как наиболее важным на первом этапе является подготовка аппаратуры к измерениям то проблемы, связанные с обработкой, были перенесены на этап 2007 г., в частности компьютерное моделирование случая сильной турбулентности выполнено частично.

Из не-прозвучавших ранее целей и задач отметим разработку и фактическую реализацию проекта автоматического монитора оптической турбулентности, работающего без присутствия оператора–наблюдателя. То, что это действительно необходимо для получения плотных и объемных рядов измерений показывает и опыт наших коллег и наш опыт исследований на г. Майданак. Заметим, что аналогичные роботизированные мониторы, работающие, например в Чили, не рассчитаны на высокую влажность и низкие температуры как в большинстве мест на территории России.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные за отчетный период важнейшие результаты: В результате измерений с прибором MASS первого поколения (оригинальный MASS), установленным на телескопе АФР в Майданакской обсерватории, получены данные о высотном распределении оптической турбулентности в течение около 95 ночей за период с 18 августа 2005 г. по 15 ноября 2006 г. Прибор также позволяет получать многие интегральные характеристики атмосферы: так в рекордную ночь 05 сентября 2005 г. среднее качество изображения в свободной атмосфере (выше 1 км) составило всего 0.1''!

На Рис. 2, справа, представлена карта интенсивностей турбулентности в эту ночь. Слева на рисунке показано изменение качества изображения в свободной атмосфере. А постоянная времени атмосферы и угол изопланатизма в эту ночь составляли около 20 мс и 5''. На Рис. 3 представлены те же графики для неполной ночи 6 октября 2006 г., это случай типичной турбулентности в атмосфере над г. Майданак. Измерения 2005 г. переобработаны с учетом коррекции случаев сильной турбулентности.

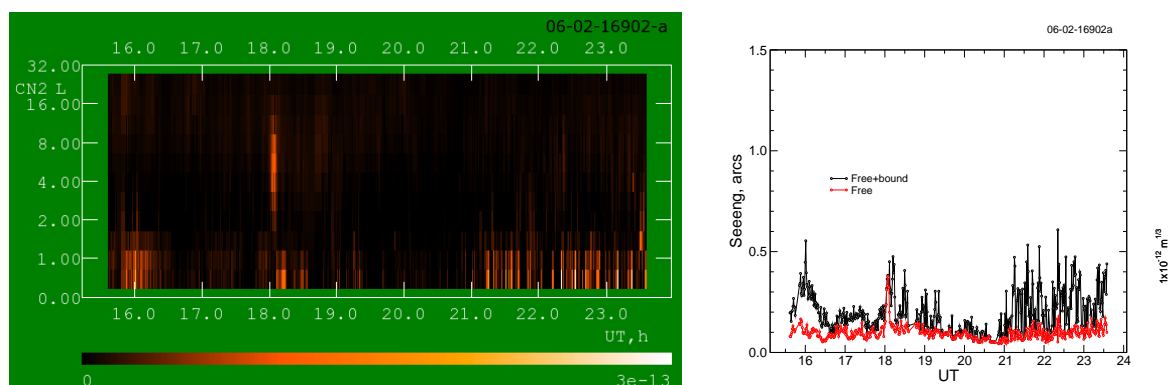


Рис. 2: Эволюция распределения оптической турбулентности по высоте в течение ночи 5 сентября 2005 г. Слева — карта интенсивности турбулентности, получаемая в реальном времени. Справа — график изменения качества изображения для свободной атмосферы (красные точки) и с учетом граничного слоя (черные)

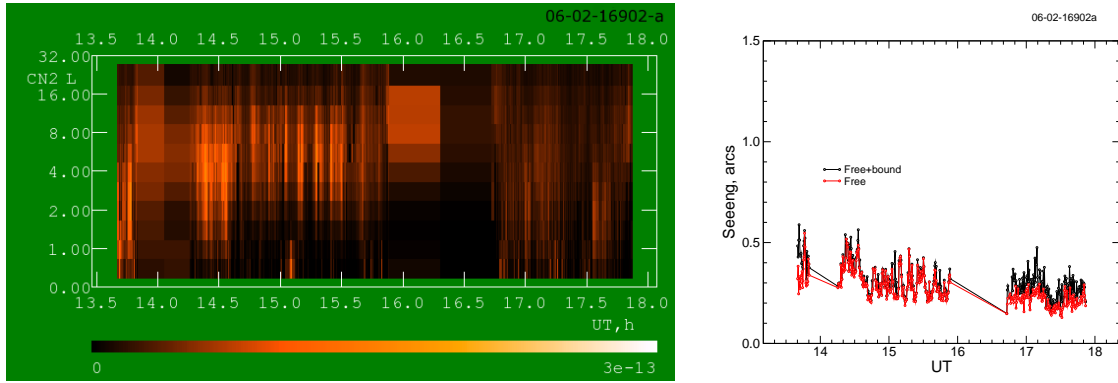


Рис. 3: То же что и на Рис. 2, но для ночи 6 октября 2006 г.

На основе анализа процесса измерений дифференциальных дрожаний сформулированы требования к характеристикам "оптимальной" ПЗС камеры для DIMM-канала. Оказалось, что таким требованиям удовлетворяют некоторые производимые серийно индустриальные ПЗС-камеры, подключаемые к компьютеру через стандартный интерфейс IEEE-1394 или Gigabit Ethernet. Для ОС GNU/Linux первый вариант предпочтительнее, поскольку имеются свободно-распространяемые библиотеки для работы с такими камерами. Единственное условие — камера должна соответствовать ИДС спецификации.

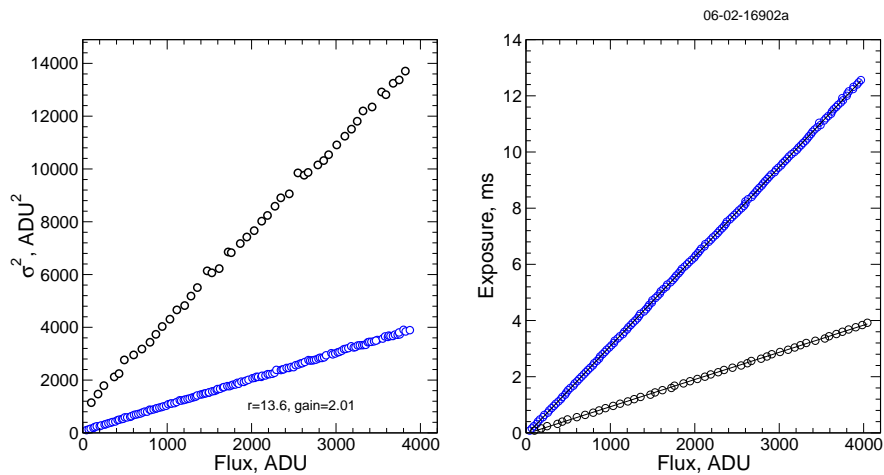


Рис. 4: Зависимость измеренной дисперсии сигнала камеры EC650 в 12-разрядной моде от уровня освещенности при двух значениях параметра Gain камеры: Gain=0 (синие точки) и Gain=10 (черные точки). Справа — соотношение между средним сигналом и длительностью экспозиции

Исследованы 2 камеры с интерфейсом IEEE-1394: 8-битная Fire-i на начальном этапе, и 12-битная Prosilica E650 как штатная камера DIMM-канала. Наши исследования показали, что камера E650 имеет шум считывания всего 11 электронов при скорости около 500 кадров в сек (при установке окна интереса размером 20×20 пикселей) и коэффициент преобразования 2 электрона/ADU.

Разработаны, написаны и отлажены программы для управления процессом измерений

в MASS и DIMM каналах прибора. В отличие от программ первого поколения — эти программы оптимизированы на удаленное использование в роботизированных мониторах оптической турбулентности. Программа DIMM-канала Turbina-core(D) вместе с ПЗС камерой E650 была испытана в реальных наблюдениях на обсерватории Параналь в течение 3-х ночей, результаты измерений показали хорошее совпадение с результатами штатного DIMM Южной европейской обсерватории.

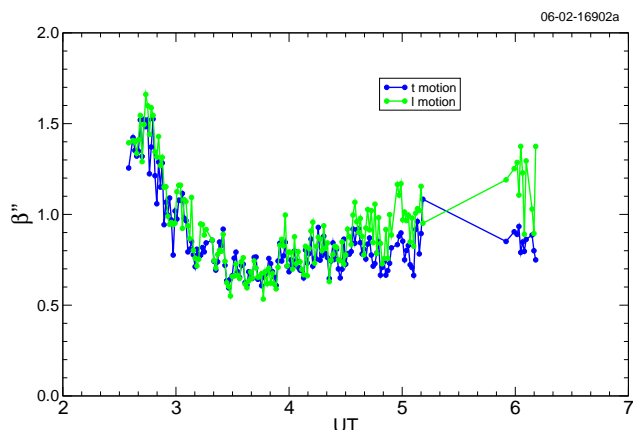


Рис. 5: Результаты пробных измерений на г. Параналь с камерой E650 и разработанным программным обеспечением DIMM-канала. Каждая точка — результат 1 мин измерения полного качества изображения по продольным (l) и поперечным (t) дрожаниям

Разработано программное обеспечение для моделирования распространения плоской световой волны через турбулентную атмосферу с заданными свойствами. В моделировании принимался Колмогоровский спектр турбулентности. С помощью этой программы подтверждено заподозренное ранее по реальным измерениям мерцаний отличие распределения флуктуаций светового потока от лог-нормального, хотя теория (в приближении малых возмущений) предсказывает чисто лог-нормальное распределение.

Методы и подходы, использованные в ходе выполнения проекта: Напомним, что MASS (MultyApertures Scintillation Sensor) канал — это 4-канальный детектор, позволяющий одновременно получать 4 обычных индексов мерцаний звезд и 6 дифференциальных с временным разрешением 1 мс, соответствующих 4 входным апертурам разного размера [3]. Из этих данных и восстанавливается высотное распределение оптической турбулентности в атмосфере Земли [4]. DIMM (Diffrrential Image Motion Monitor) — монитор дифференциальных дрожаний звезд, измеряющий кривизну волнового фронта на базе 20–25 см [5].

Метод DIMM признан базовым методом оценки качества астрономического места с 90-х годов, Метод MASS, разработанный нами в сотрудничестве с ESO и СТЮ, используется всего около 5 лет. Хотя эта методика уже стала классической, в мире работает свыше 15 таких приборов — все они сосредоточены в западном полушарии (см., например, [11]). На территории России и Средней Азии эта методика до нас не применялась.

В отличие от наших западных коллег, наша группа с самого начала работ по этой теме целенаправленно продвигалась к действительному объединению обоих методов, понимая,

что включение в процедуру восстановления данных DIMM-канала существенно повысит обусловленность получаемого решения.

При выборе ПЗС камеры для DIMM-канала мы расширили стандартную оценку точности измерения дисперсии дифференциальных дрожаний (величины связанной с качеством изображения) сделанную ранее для единичного кадра (см., например, [9]), учтя фактор количества кадров в единицу времени. Действительно, мы можем иметь больший вклад шума, но если этот вклад определяется с большей точностью, то и результат будет более точным. Оценки показывают, что измерения с частотой около 200 кадров в сек позволяют получить в 3–4 раза более точные данные чем обычно.

СТЕПЕНЬ НОВИЗНЫ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Степень новизны полученных результатов: Результаты измерений на г.Майданак безусловно оригинальны и получены впервые, если не считать наших же тестовых измерений с прототипом прибора MASS в 1998–1999 г [6]. Особенно интересны они тем, что это единственные систематические данные для всего региона Средней Азии, перспективного с астроклиматической точки зрения.

Новое программное обеспечение, хотя и демонстрировалось зарубежным астрономам, еще нигде не применялось. А его принципиальное отличие - возможность использовать в реальном времени данные обоих каналов, тем самым получая профиль турбулентности с полным интегралом по высоте (включая пограничный и приземный слой), существенно стабилизирует процедуру решения.

Сопоставление полученных результатов с мировым уровнем: Все полученные результаты безусловно находятся на мировом уровне, поскольку мы работаем в тесном контакте с лидирующими группами по выбору мест для крупных телескопов (программа выбора места для 30-м телескопа TMT, программа ESO выбора места для ELT, антарктическая астроклиматическая программа и т.д.) помогая им в освоении методики MASS. Эти группы пользуются нашим программным обеспечением первого поколения.

Список литературы

- [1] Roddier, F. in AO in Astronomy, Cambridge U. Press, New York, ed. F. Roddier, 1990
- [2] S.Kenyon, J.Lawrence, M.Ashley, J.Storey, A.Tokovinin, E.Fossat, arXiv:astro-ph/0604538 v1 26 Apr 2006
- [3] Kornilov V., Tokovinin A., Voziakova O., Zaitsev A., Shatsky N., Potanin S., Sarazin M., Proc. SPIE, V. 4839, p. 837-845, 2003
- [4] A.Tokovinin, V.Kornilov, N.Shatsky, O.Voziakova, MNRAS, V.343, P.891, 2003
- [5] Sarazin M., Roddier F., Astron. Astrophys. 227, 294, 1990
- [6] Корнилов В., Токовинин А., Астрон.Ж., т.45, с.459, 2001
- [7] V.Kornilov, Turbina-core(D) User Guide (Preliminary). December 24, 2006, http://dragon/mass/download/doc/dimm_soft_description.pdf

- [8] О.Возякова, В.Корнилов, Н.Шатский, Новое программное обеспечение прибора MASS/DIMM. Управляющее ядро Turbina-core(M). Сентябрь 21, 2006, <http://dragon/mass/download/doc/turbina-core.pdf>
- [9] Tokovinin A., PASP, **114**, 1156, 2002
- [10] В.Корнилов, Контроль фотометрической полосы детектора MASS. September 09, 2006, http://dragon/mass/download/doc/mass_spectral_band.pdf
- [11] <http://www.ctio.noao.edu/~atokovin/profiler/maidanak.html>