

**Фильтрация фона и его
аппроксимация при обработке
измерений MASS**

В. Корнилов

25 марта 2010 г.

1 Фильтрация измерений фона неба

Оценка непуассоновости p для измерений фона делается по значениям из обрабатываемого файла *.stm умножением потока в данной апертуре (колонки 4, 5, 6 и 7) на соответствующую нормированную дисперсию (колонки 8, 9, 10 и 11). Фильтрация фона основана на факте, что если в апертуре только фон, то второй момент определяется статистикой Пуассона. На Рис. 1 приведены секундные значения p по измерениям фона с 3 января 2008 по 30 октября 2009 для всех каналов прибора MASS.

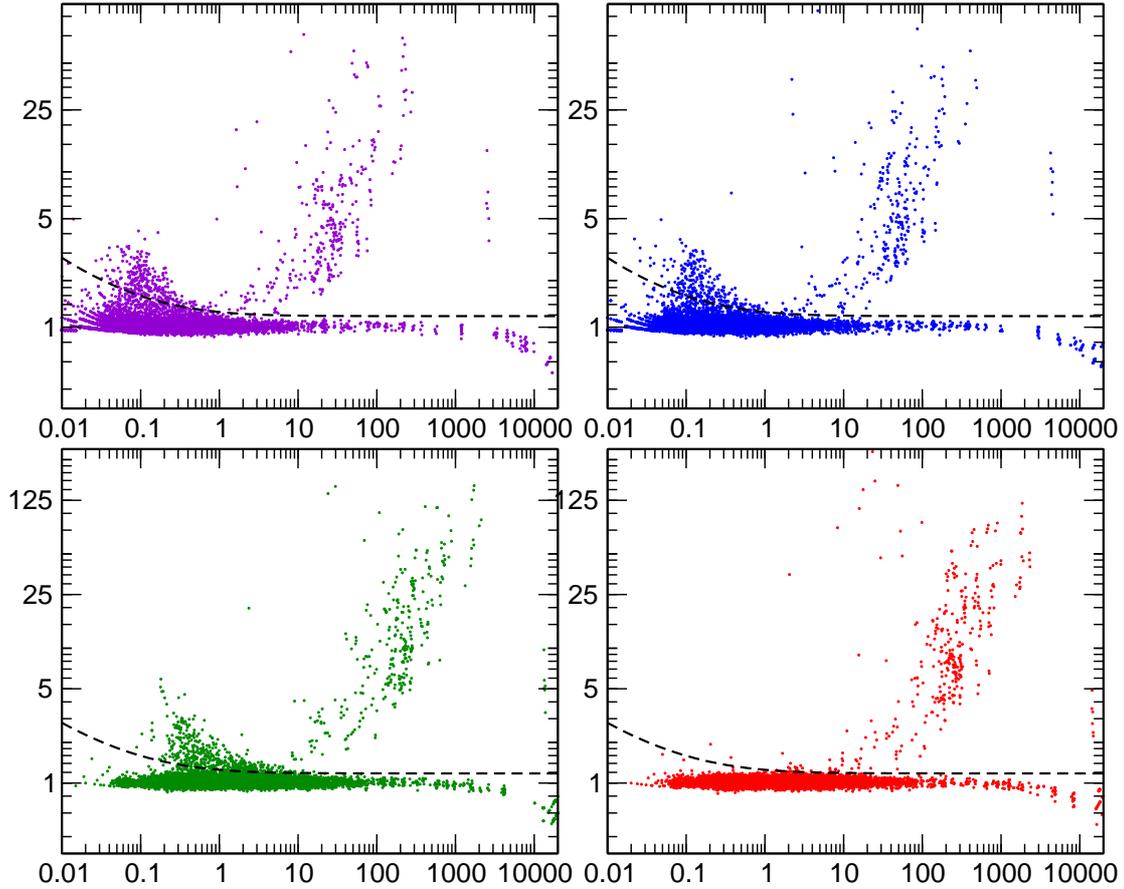


Рис. 1: Зависимость оценки p по измерениям фона в период с 3 января 2008 по 30 октября 2009 от измеренного потока. Вверху слева: апертура А, вверху справа: апертура В, внизу слева: апертура С, внизу справа: апертура D. Штриховые линии — пороговые значения p_{max}

Относительная точность измерения параметра непуассоновости p составляет

$$\epsilon_p^2 = \frac{2}{N} \left(1 + \frac{1}{F}\right), \quad (1)$$

где N — число микроэкспозиций за базовое время $basetime$, обычно это 1000, но в общем

Таблица 1:

	Канал А	Канал В	Канал С	Канал D
Медиана по измерениям фона	1.017	1.023	1.022	1.014
По контрольному свету в 2009	1.023	1.023	1.015	1.018
По контрольному свету в 2007	1.027	1.038	1.028	1.039

случае $N = T_b/T_e$. Средний отсчет за микроэкспозицию F соответствует значениям потока, приводимым в выходном файле.

Далее вычисляется пороговое значение по уровню 4σ :

$$p_{max} = p \cdot (1 + 4\sqrt{\epsilon_p^2}), \quad (2)$$

где p — коэффициент непуассоновости в канале. Кривые p_{max} также показаны на Рис. 1 штриховыми линиями. Все измерения с $p > p_{max}$ отбраковываются как неправильные измерения фона.

Для потоков $F < 10$ становится заметным отличие распределения выборочных оценок p от нормального распределения и по уровню 4σ статистически отбраковывается 3% измерений (в апертуре С). Эффект не-симметричности распределения не заметен в апертуре D поскольку там достаточно велик темновой фон. Учитывая, что это отдельные, не связанные с соседними, секундные отсчеты, такая фильтрация не приведет к отбраковке измерений фона в целом. Конечно, если это не измерение какой нибудь звезды. В этом случае будет отброшено все 10 секундное измерение.

Отличие распределения от нормального приводит к завышению оценок p , полученных как средние. В таблице 1 приведены оценки, выполненные разными методами. Некоторые различия оценок, выполненных разными способами, может быть связано и с временным изменением коэффициента непуассоновости, это явление иллюстрируется Рис. 2. Явно прослеживается годовичная волна, вызванная изменением средней температуры ночи. Второе возможное объяснение — стабилизация режима работы ФЭУ после его включения в течение длинных осенне-зимних ночей.

В любом случае, неопределенность значения p , необходимого при вычислении индексов мерцаний из статистических моментов измерений потока, достигает 0.005. Эта неопределенность особенно критична для дифференциального индекса s_{AB}^2 , для которого она равна $0.005/F_A + 0.005/F_B$. По измерениям на горе Майданак в %25 случаев $s_{AB}^2 < 0.0024$, что приводит к неопределенности учета фотонного шума в %10 если поток в А около 12 имп/мс. Для измерений с MASS/DIMM ситуация менее критичная, поскольку потоки в канале А в среднем в 2–3 раза выше и общая турбулентность несколько выше.

2 Учет фона неба

После фильтрации входных данных измерений фона способ его учета зависит от того как он меняется. В регулярных измерениях фон практически не меняется даже в условиях лунной ночи. Точнее, при восходе/заходе Луны он меняется достаточно быстро, но сама его

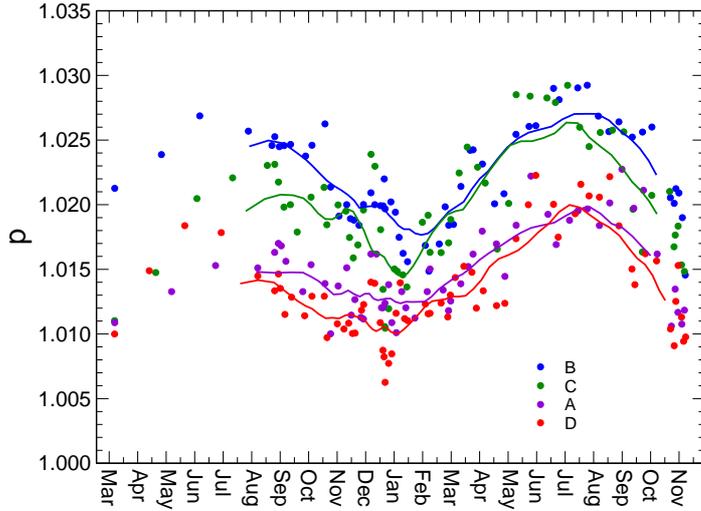


Рис. 2: Поведение медианных оценок коэффициента непуассоновости от времени.

величина незначительна. Кардинально другая ситуация реализуется в сумерках (высота Солнца $h_{\odot} > -12^{\circ}$). Поэтому далее приводятся два алгоритма обработки и учета фона неба в зависимости от текущего значения h_{\odot} — **a** и **b**.

В исключительных случаях реализуется тривиальный алгоритм **c**, фон неба настолько велик, что учесть его невозможно и в этом случае обработка не выполняется с выдачей сообщения о такой ситуации. Эта ситуация отсекается по условию $h_{\odot} > -5^{\circ}$. При такой высоте Солнца фон в апертуре D примерно равен 3000 имп/мс. Скорость изменения высоты Солнца примерно $\pm 0.15^{\circ}/\text{мин}$ и фон меняется примерно на 15% в минуту что приводит к необходимости в алгоритме **a** вычислять значение фона для каждого отдельного измерения индексов мерцаний.

Сначала опишем процедуру переключения между алгоритмами, затем опишем алгоритмы **a** и **b** по отдельности.

Измерения пропускаются (выполняется алгоритм **c**), пока не обнаружено измерение фона, выполненное в момент, когда высота $h_{\odot} < -5^{\circ}$. Это значение используется как начальное значение для алгоритма **a**, который выполняется до завершения некоторой моды Normal, в момент окончания которой высота Солнца станет меньше -12° . Последний вычисленный фон фиксируется как начальное значение для алгоритма **b**, который с этого момента начинает выполняться. Алгоритм **b** используется всю ночь до завершения моды Normal, в момент окончания которой h_{\odot} станет $> -12^{\circ}$. Последнее использованное значение фона используется как начальное значение для дальнейшего выполнения алгоритма **a**. Нормальная мода для которой в самом начале $h_{\odot} > -5^{\circ}$ и все последующие не обрабатывается (алгоритм **c**).

a — Экстраполяция фонов F осуществляется для его логарифма, поскольку изменение $\ln F$ с высотой Солнца почти линейно. Из-за возможных больших значений начальное

значение фона $\ln F$ корректируется за нелинейность счетчиков:

$$\ln F_j = \ln F'_j + \tau_j F'_j, \quad (3)$$

где τ_j — параметр нелинейности в j -канале, F'_j — исходное значение фона, F_j — скорректированное значение. Можно использовать готовый код в модуле `indices.cpp`, где более точная коррекция делается с использованием функции Ламберта $W(z)$.

Затем для значения h_\odot , соответствующего измерению фона, вычисляется производная по формуле (см. Рис. 3):

$$\frac{d \ln F_j}{dh_\odot} = 0.52189 - 0.26242 \cdot h_\odot - 0.0235464 \cdot h_\odot^2, \quad (4)$$

и $\ln F_j(t)$ для каждого измерения в момент t вычисляется линейной экстраполяцией по аргументу $h_\odot(t)$. При появлении нового измерения фона коэффициенты экстраполяции пересчитываются.

- b** — Фиксируется последний поступивший на вход фон до момента появления нового измерения или переключения алгоритмов. Последующие измерения индексов мерцаний обрабатываются с зафиксированным фоном. Значения фона за нелинейность могут не корректироваться.
- c** — Индексы мерцаний не вычисляются и восстановление профилей не производится. На `stderr` выдаются сообщения для каждой нормальной моды, если они есть.

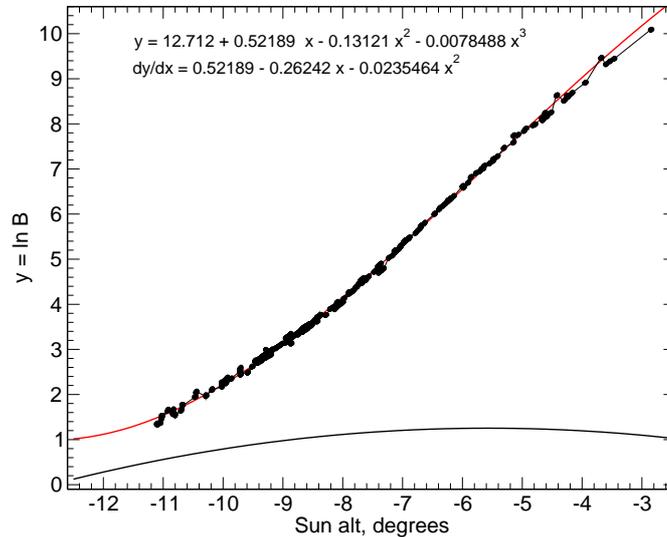


Рис. 3: Величина фона неба в апертуре D в зависимости от высоты Солнца. Построена по данным измерений в ноябре 2009

3 Учет нелинейности

Учет влияния нелинейности счетчиков на потоки ξ , дисперсии σ^2 и ковариации ρ производится на основе выражений, полученных в работе В.Корнилов, АЖ, 2008, том 85, Вып. 1, с. 79-87.

Обозначим измеренные величины как ξ' , $\sigma^{2'}$, ρ' , а истинные (корректированные) величины как ξ , σ^2 , ρ . Истинный поток ξ вычисляется по измеренному ξ' следующим образом:

$$\xi = -\frac{1}{\tau}W(-\tau\xi'), \quad (5)$$

где τ — параметр нелинейности (“мертвое время”), а $W(x)$ — функция Ламберта.

При коррекции вторых моментов нужно учитывать, что измеренные дисперсии $\sigma^{2'}$ содержат вклад пуассоновского фотонного шума, а измеренные ковариации ρ' не содержат. Поэтому для дисперсий вначале вычитается этот вклад:

$$\sigma_s^{2'} = \sigma^{2'} - p\xi'(1 - 2\tau\xi') \quad (6)$$

Затем учитывается влияние нелинейности на флуктуации сигнала, связанные с мерцаниями

$$\sigma_s^2 = \sigma_s^{2'} \left(\frac{\partial \xi}{\partial \xi'} \right)^2, \quad \rho = \rho' \left(\frac{\partial \xi}{\partial \xi'} \right)^2, \quad (7)$$

где

$$\frac{\partial \xi}{\partial \xi'} = \frac{e^{\tau\xi}}{(1 - \tau\xi)}. \quad (8)$$

Окончательно имеем

$$\sigma_s^2 = \sigma_s^{2'} \frac{e^{2\tau\xi}}{(1 - \tau\xi)^2}, \quad \rho = \rho' \frac{e^{2\tau\xi}}{(1 - \tau\xi)^2} \quad (9)$$

После нормировки на поток от звезды (т.е. после учета фона и рассеянного света) мы получаем соответствующие индексы мерцаний.