

Способы обнаружение мерцающих компонент радиоисточников.

Обработка наблюдений.

С. А. Тюльбашев^{1,*}

¹*Пуцинская радиоастрономическая обсерватория,*

Астрокосмический центр Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Пуцино, Россия

Показаны способы обнаружения мерцающих радиоисточников.

Приведены параметры, которые можно извлечь из наблюдений мерцающих источников.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Оценка угловых размеров радиоисточников — это одна из типичных работ, которую приходится проводить астрономам по результатам наблюдений. На настоящий момент времени можно выделить, пожалуй, два основных способа извлечь угловые размеры радиоисточника. Во-первых, это интерферометрический способ. Во-вторых, это метод мерцаний.

При интерферометрических наблюдениях извлекается информация об излучении от источника на угловых масштабах, связанных с базой интерферометра и длиной волны наблюдений (λ/d радиан). При наблюдениях на многих телескопах применяется метод апертурного синтеза, который помимо характерных размеров источника дает возможность выделить форму излучающей области. Достоинством интерферометрических методов является хорошо отработанная методика и свободно распространяемые пакеты программ для обработки наблюдений. Подавляющая часть астрономов изучающих компактные радиоисточники используют именно интерферометрию для наблюдений этих источников. Недостатком является то, что

*E-mail: serg@prao.ru

в наблюдениях методом апертурного синтеза нужно одновременное использование многих телескопов, а первичная обработка наблюдений занимает существенное время из-за больших объемов исходных данных. Еще одним недостатком является ограничение по частотам на которых оптимально использование метода при наблюдениях на сверхдлинных базах (которые и позволяют получить угловое разрешение достаточное, например, для исследований активных ядер галактик). Формально интерферометрические способы можно использовать вплоть до декаметрового диапазона (например, украинская система "Уран" работает на частоте 25 МГц), но в реальности из-за ионосферы и малого времени когерентности на низких частотах основные наблюдения РСДБ методом редко опускаются на частоты ниже 0.3 ГГц.

Мерцания, т.е. нерегулярные изменения наблюдаемой плотности потока от радиоисточника происходят на неоднородностях электронной плотности. Различают ионосферные мерцания (характерные времена от нескольких секунд до минут), межпланетные мерцания (характерные времена до секунды), межзвездные мерцания (характерные времена от десятков минут до месяцев). Характерное время мерцаний связано с частотой наблюдений и расстоянием до неоднородностей (до экрана) на которых и происходят мерцания. Так, если наблюдаются мерцания источника на ионосфере, то у него есть компоненты угловые размеры которых не превышают нескольких угловых минут. Если наблюдаются мерцания на межпланетной плазме, то характерные угловые размеры мерцающей компоненты источника не превышают нескольких угловых секунд. Если наблюдаются межзвездные мерцания, то типичное разрешение порядка десятков микросекунд, а рекордное достигнутое разрешение десять наносекунд. Достоинством метода мерцаний является простота наблюдений, возможность использования для наблюдений одиночного телескопа. Недостатками метода мерцаний является отсутствие общепринятой методики обработки наблюдений, невозможность на практике восстановить из наблюдений форму радиоисточника. Каждый коллектив авторов использует свои пакеты обработки наблюдений.

Здесь мы рассматриваем способы обработки наблюдений, полученных методом

межпланетных мерцаний. Отметим дополнительно, что наблюдения методом межпланетных мерцаний особенно хороши на частотах 80-300 МГц, где наблюдения с разрешением лучше угловой секунды РСДБ методами затруднены и тем самым они дополняют наблюдения на высоких частотах полученные РСДБ методами.

2. ОБРАБОТКА НАБЛЮДЕНИЙ

I. Первый способ

Антенна БСА является меридианным инструментом и сканирование радиоисточников проводится за счет вращения Земли. Следовательно, прямое восхождение (α) радиоисточника можно определить зная начало наблюдения и время прохождения максимума источника через меридиан. Как дифракционная решетка, БСА имеет многолучевую диаграмму направленности. Наблюдения можно проводить одновременно в нескольких (от одного до шестнадцати) лучах. Существует возможность наблюдать в промежуточных направлениях. При этом один радиоисточник может наблюдаться в четырех соседних лучах (или в трех, если он попадает в максимум центрального), и оценку склонения (δ) радиоисточника и плотности потока можно делать соответственно по четырем (или трем) точкам.

Сигнал на выходе радиометра можно представить в виде следующих составляющих:

1. Нулевой уровень записи - $O(t)$. Его изменения определяются изменениями температуры галактического фона и изменениями коэффициента усиления приемника. Характерный временной масштаб таких флуктуаций - $\sim 1^h$.
2. Запись "спокойного" источника - $S_i k(t - \alpha)$. Здесь S_i - интегральная плотность потока радиоисточника, $k(t)$ - диаграмма направленности антенны по прямому восхождению, α - прямое восхождение источника (ось диаграммы направленности лежит в плоскости меридиана). Временной масштаб определяется шириной диаграммы БСА по прямому восхождению $\sim 10^m$.
3. Мерцания $M(t) = \Delta S(t) k(t - \alpha)$. $\Delta S(t)$ - флуктуации плотности потока источника, вызванные межпланетными мерцаниями. Временной масштаб межпланетных мерцаний

– 1^s.

4. Шумы $n(t)$. Сюда мы включаем шумы системы, характерное время которых определяется постоянной времени приемника ($\tau < 1^s$), ионосферные мерцания (временной масштаб $\sim 1^m$) и эффект путаницы немерцающих источников (временной масштаб определяется диаграммой направленности антенны $\sim 10^m$). Эффект путаницы мерцающих источников мы не учитываем, так как специальные исследования этого эффекта на антенне БСА (Артюх и Шишов, 1982) показали, что среднеквадратичная величина эффекта путаницы мерцающих источников < 0.14 Ян (при полосе 1.5 МГц).

5. Помехи - $P(t)$. Даже после установки узкополосных фильтров наблюдения довольно часто искажаются помехами, которые носят импульсный характер и в большинстве случаев ширина импульсов меньше 5^s.

Таким образом, сигнал на выходе радиометра равен:

$$U(t) = O(t) + S_i^\delta(k)(t - \alpha) + \Delta S^\delta(t)k(t - \alpha) + n(t) + P(t)$$

Здесь значек δ подчеркивает, что луч направлен на склонение δ , которое может не совпадать со склонением мерцающего источника, и, как отмечалось выше, источник наблюдается в нескольких соседних лучах диаграммы направленности антенны БСА.

В результате обработки наблюдений необходимо обнаружить мерцающий радиоисточник и оценить его координаты и плотность потока. Необходимо отметить, что это можно сделать только для сильных радиоисточников, у которых дисперсия мерцаний более, чем на порядок превосходит дисперсию шумов. В этом случае можно оценить угловой размер мерцающего источника и, следовательно, его плотность потока. Для слабых радиоисточников приходится ограничиться оценками координат и дисперсии мерцаний.

Методика обработки наблюдений. В соответствии с постановкой задачи обработка обзора мерцающих радиоисточников проводится по следующей схеме. Сначала отфильтровываются все мешающие медленные процессы и импульсные помехи. Затем проводится поиск мерцающих источников. Завершается обработка оценкой параметров обнаруженных источников.

1. Фильтрация сигнала.

а) Разностный фильтр.

Чтобы устранить факторы мешающие обнаружению мерцающих радиоисточников, мы вначале отфильтровываем все медленные, по сравнению с мерцаниями, процессы. Фильтрация проводится с помощью разностного фильтра, как наиболее простого из высокочастотных фильтров (Слущкий 1960, Дженкинс и Ваттс 1972):

$$U_f(t) = U(t + \Delta) - U(t).$$

Разностный фильтр применяется дважды. Это позволяет полностью устранить линейные изменения нулевого уровня, а вклад немерцающих источников уменьшить почти на четыре порядка, когда шаг фильтрации $\Delta = 1.5$ с. Временной масштаб ионосферных мерцаний на порядок меньше ширины диаграммы направленности БСА и ионосферные мерцания подавляются на два порядка. Если учесть, что наблюдения, заметно искаженные ионосферой, мы в обработку не берем, то влиянием ионосферы на запись источника можно пренебречь. Итак, сигнал на выходе после фильтрации имеет следующий вид:

$$U_1(t) = \Delta S_1^\delta(t)k(t - \alpha) + n_1(t) + P_1(t).$$

Здесь ΔS_1^δ , $n_1(t)$ и $P_1(t)$ мерцания, шумы системы и помехи после разностного фильтра.

Шаг фильтрации Δ выбирается из следующих соображений. Временной спектр межпланетных мерцаний имеет плоский участок от нижних частот до приблизительно 1 Гц, затем степенной участок, а затем еще один плоский участок, отвечающий за шумы. Можно показать, что спектральная характеристика разностного фильтра равна:

$$\tilde{F}(\nu) = 16(\sin \pi \nu \Delta)^4.$$

Отсюда видно, что чем меньше величина Δ , тем больше подавляются низкие частоты. Это хорошо для подавления медленных процессов. С другой стороны на частотах выше 0.4 Гц начинается резкий спад спектра мерцаний, в то время как спектр шумов остается постоянным. Поэтому, при $\Delta < 1.5$ с фильтр будет пропускать частоты, где полезный

сигнал резко убывает, а шумы сохраняют свою величину. Это приводит к уменьшению отношения S/N , которое определяется как отношение дисперсии мерцаний к дисперсии шумов: $S/N = \langle \Delta S^2 \rangle / \langle n^2 \rangle$. Следовательно, шаг фильтрации $\Delta = 2.5$ с является оптимальным, поскольку при этом мы имеем максимальное отношение S/N , что весьма важно для обнаружения предельно слабых мерцающих источников. В принципе, на практике можно использовать Δ в диапазоне 1.5 с - 2.5 с.

Оценим величину дисперсии мерцаний после разностного фильтра. Спектр случайного процесса после фильтра равен:

$$\tilde{U}_1(\nu) = \tilde{F}(\nu)\tilde{U}(\nu).$$

Здесь $\tilde{F}(\nu)$ – спектральная характеристика фильтра, $\tilde{U}(\nu)$ – временной спектр мерцаний. В области частот до $\nu_0 \simeq 0.4$ Гц, эффективно пропускаемых фильтром, спектр мерцаний можно считать константой: обозначим ее через s . Дисперсия мерцаний после двойного разностного фильтра равна:

$$\langle \Delta S_1^2 \rangle = \int_0^{\nu_0} \tilde{U}_1(\nu) d\nu = s \int_0^{\nu_0} 16(\sin \pi \nu \Delta)^4 d\nu \simeq 6s\nu_0.$$

До фильтрации эта дисперсия была равна:

$$\langle \Delta S^2 \rangle = \int_0^{\nu_0} \tilde{U}(\nu) d\nu = s\nu_0.$$

Отсюда следует, что дисперсия мерцаний после фильтрации увеличивается в шесть раз. То же самое относится и к дисперсии шума, так как его спектр на этих частотах также является константой. Модельные расчеты на ЭВМ показывают, что это приближенное равенство выполняется с точностью $\sim 1\%$.

Поскольку разностный фильтр не подавляет высокочастотную составляющую шумов, где спектр мерцаний резко спадает, то для повышения отношения S/N необходимо подавить шумы на высоких частотах. Это можно сделать как с помощью интегрирующего фильтра в приемнике, так и путем эквивалентного сглаживания сигнала в ЭВМ. Отметим, что после этого шумы и мерцания будут иметь одинаковые

спектры, определяемые разностным фильтром, и будут отличаться только дисперсией. Очевидно, что при этом отношение S/N будет максимальным.

б) Медианный фильтр.

Наличие импульсных помех, особенно сильных, не только ухудшает оценки параметров радиоисточников, но и приводит к обнаружению ложных источников. Поэтому перед поиском мерцающих источников информацию необходимо очистить от помех. Для этого мы используем медианный фильтр (Тьюки 1971). Медианная фильтрация является методом нелинейной обработки сигналов и теория медианного фильтра еще не полностью развита, что затрудняет его использование. Однако эффективность этого фильтра при устранении импульсных помех и его простота по сравнению с итеративными и рекурсивными фильтрами делают медианную фильтрацию предпочтительной (Хуанг 1984).

Медианная фильтрация осуществляется посредством движения некоторой апертуры вдоль числовой последовательности и замены значения информации в центре апертуры медианой значений входной информации внутри апертуры.

Медианный фильтр не меняет среднего значения сигнала и уменьшает его дисперсию. Если исходные случайные величины x_i являются независимыми, одинаково распределенными с нормальным распределением и дисперсией σ_x^2 , то после медианной фильтрации с апертурой n точек (n – нечетное) дисперсия сигнала после фильтра равна (Хуанг 1984):

$$\sigma_{med}^2 \simeq \frac{\sigma_x^2}{n + n/2 - 1} \pi/2.$$

Мы использовали трехточечный ($n=3$) медианный фильтр, причем отсчеты брались с шагом 10 с, так как почти все помехи в наших наблюдениях имели длительность < 5 с и после разностного фильтра их ширина удваивается. В соответствие с теорией $\sigma_{med}^2 \simeq 0.44\sigma_x^2$. Для уточнения коэффициента пропорциональности мы провели модельные расчеты и получили $\sigma_{med}^2 = (0.48 \pm 0.014)\sigma_x^2$.

Наблюдения мерцающих источников мы проводим на солнечных элонгациях больше 24° , в режиме слабых мерцаний, когда мерцания хорошо описываются нормальным распределением (Гочелашвили 1981). Следовательно медианный фильтр

будет уменьшать дисперсию мерцаний также в 0.48 раз и отношение S/N для мерцающих источников останется максимальным! Числовой массив после медианного фильтра обозначим через $U_2(t)$.

Окончательно, после прохождения двух фильтров дисперсия сигнала увеличивается в $6 \times 0.48 = 2.88$ раз.

Когда попадает участок неба с сильным градиентом температуры приходится смещать нулевой уровень записи. Сброс нулевого уровня в радиометре производится автоматически. Т.е. появляется ступенька в записи. После разностного фильтра в этом месте будет выброс, который затем убирается медианным фильтром. Таким образом, данное сочетание разностного и медианного фильтров позволяет вести обзор неба в автоматическом режиме не опасаясь последствий сброса нулевого уровня радиометра.

Обнаружение мерцающих радиисточников.

Получив отфильтрованный массив $U_2(t)$, где отношение S/N максимально, проводим поиск мерцающих источников. В принципе такой поиск можно делать по интервальной оценке дисперсии временного ряда $U_2(t)$, но мы предпочли вести поиск другим способом.

Если случайная величина x подчиняется нормальному распределению с дисперсией σ_x^2 и нулевым средним, то среднее значение модуля равно:

$$\langle |x| \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} |x| W(x) dx = 2/\sigma_x \sqrt{2\pi} \int_0^{\infty} x e^{-x^2/2\sigma_x^2} dx = \sigma_x \sqrt{2/\pi}.$$

Отсюда видно, что можно измерять дисперсию шумов, делая оценку среднего значения их модуля. Оценка среднего имеет меньшую погрешность, чем оценка дисперсии. Поэтому мы вместо массива $U_2(t)$ берем его модуль. Далее, чтобы подчеркнуть вклад мерцающих источников, мы из этого массива вычитаем среднее значение модуля шумов:

$$U_3(t) = |U_2(t)| - \langle |n_2(t)| \rangle .$$

Если дисперсия шумов системы до фильтрации σ_n^2 , то:

$$\langle |n_2| \rangle = \sigma_n \sqrt{\frac{2 \times 2.88}{\pi}}.$$

Величину σ_n^2 мы получаем из калибровочных наблюдений. Методика обработки калибровочных источников приведена в работе Левина 1968.

Когда в диаграмму направленности антенны попадает мерцающий радиоисточник, то на выходе радиометра мы имеем сумму двух случайных процессов: мерцания плюс шумы. Из физических соображений, естественно считать эти процессы статистически независимыми, следовательно, дисперсия суммарного процесса равна сумме дисперсий, а среднее значение модуля отфильтрованного сигнала равно

$$\langle |U_2| \rangle = (\sigma_m^2 + \sigma_n^2)^{1/2} \sqrt{\frac{2 \times 2.88}{\pi}},$$

где σ_m^2 – дисперсия мерцаний до фильтрации.

Поскольку дальнейшая обработка связана с усреднением полученного числового массива с разными весами, то для уменьшения дальнейших вычислений и ускорения обработки, массив $U_3(t)$ мы усредняем на интервале 21sec с и получаем числовой массив $U_4(t)$. Интервал усреднения выбран на основании следующих соображений. Сигнал на выходе радиотелескопа является функцией с ограниченным спектром, так как радиотелескоп пропускает пространственные частоты до $w = D/\lambda$ (D – размер диаграммы антенны, λ – длина волны). В соответствии с теоремой Котельникова (Котельников 1993) такой сигнал можно восстановить по дискретным отсчетам, снятым с шагом $\Delta h = \frac{1}{2} \times \frac{\lambda}{D}$. При наличии шумов часть информации теряется и чтобы компенсировать эти потери рекомендуют снимать отсчеты в несколько раз чаще (Дженкинс 1972). Мы снимаем отсчеты в 5 раз чаще, чем требует теорема Котельникова, что во временных единицах составляет $\Delta h \simeq 21 \text{sec}$ с, а внутри этого интервала сигнал усредняется.

Выбрав первые n отсчетов числового ряда $U_4(t)$ ($n = 21$ – число точек, на которых задана диаграмма направленности антенны), вычисляем величину $R(\tau)$, которая называется статистикой обнаружения

$$R(\tau) = \sum_1^n U_4(t_i + \tau) K(t_i) / \sum_1^n k^2(t_i).$$

Затем сдвигаем $U_4(t)$ на один шаг и снова вычисляем $R(\tau)$ и так далее для всего массива $U_4(t)$. Если величина статистики обнаружения $R(\tau)$ превышает некоторое критическое значение R_0 , то принимается решение, что мерцающий радиоисточник обнаружен.

Критический уровень R_0 и вероятность пропуска сигнала определяются исходя из вероятности ложного обнаружения. Для выбора R_0 мы провели модельные расчеты параметра обнаружения R , имитируя процесс наблюдений, когда на записи присутствуют только шумы. Функция распределения R очень хорошо аппроксимируется нормальным распределением с нулевым средним и с дисперсией, равной оценочной $\sigma_R = 0.051\sigma_n$. Проверка по критерию χ^2 показала, что гипотезу о нормальном распределении нельзя отбросить даже при самых строгих уровнях критерия значимости. На основании этого мы в дальнейшем пользовались теоретической функцией распределения. Принимая вероятность ложного обнаружения равной 0.0015, получаем $R_0 = 0.15\sigma_n$.

Вероятность пропуска сигнала также оценивалась с помощью модельных расчетов. Оказывается, что при $R_0 = 0.15\sigma_n$ мы регистрируем практически все мерцающие радиостанции, у которых дисперсия мерцаний равна дисперсии шумов и при этом количество ложных источников составит в среднем ~ 1 источник из 1000.

Измерение параметров мерцающего радиостанции.

а) Оценка прямого восхождения источника.

При записи мерцающего источника форма сигнала $U_4(t)$ будет отслеживать форму диаграммы направленности антенны и по своему смыслу величина $R(\tau)$ дает степень корреляции (степень сходства) сигнала с диаграммой направленности антенны. Максимум $R(\tau_m)$ указывает на максимальное сходство и естественно принять величину τ_m , на которой достигнут этот максимум, за координату (момент кульминации) мерцающего источника. Как отмечалось выше для убыстрения счета $R(\tau)$ мы усредняли численный массив $U_3(t)$ по 21sec с, так что естественно, после усреднения соседние отсчеты $U_4(t)$ разнесены на эту величину. Следовательно координату источника мы определяем с такой же точностью. Однако для сильных радиостанций эту координату даже на глаз можно определить точнее. Поэтому мы уточняем координату следующим образом. Выбираем три значения $R(\tau)$: $R(\tau_m) = R_m$, одно значение до него R_- и одно после R_+ , проводим через эти три точки параболу и момент времени, когда парабола достигает максимума, принимаем за координату мерцающего источника. Если величине R_m соответствует время τ_m , то максимум параболы приходится на момент

кульминации $\tau_k = \tau_m + \delta\tau$, где

$$\delta\tau = \frac{\Delta\tau}{2} \frac{R_+ - R_-}{2R_m - R_+ - R_-}.$$

Здесь $\Delta\tau$ = шаг вычислений $R(\tau)$.

Тем самым, координата оценивается с точностью лучше, чем $\Delta\tau$.

Прямое восхождение радиоисточника равно измеренному моменту кульминации с учетом поправки за наклон плоскости антенны БСА к горизонту.

б) Оценка дисперсии мерцаний.

Как отмечалось выше, флуктуации плотности потока мерцающего радиоисточника в режиме слабых мерцаний описываются нормальным распределением с нулевым средним и дисперсией $\sigma_m^2 (< \Delta S^2 > = \sigma_m^2)$. Оценку дисперсии мерцаний мы получаем исходя из соотношений по измерению амплитуды записи мерцающего радиоисточника (см. выше):

$$a = \sqrt{\frac{2 \times 2.88}{\pi}} (\sqrt{\sigma_m^2 + \sigma_n^2} - \sigma_n).$$

Если бы при наблюдении источника сигнал $U_4(t - \tau_k)$ имел форму диаграммы направленности антенны с добавкой аддитивного нормального шума, то величина

$$R(\tau_k) = \frac{\sum U_4(t_i - \tau_k)k(t)}{\sum k^2(t_i)}$$

была бы максимально правдоподобной оценкой амплитуды a (Левин 1968). Однако с учетом модуляции сигнала диаграммой направленности антенны можно показать, что форма теоретической записи имеет вид

$$U_{\tau_4}(t) = \sqrt{\frac{2 \times 2.88}{\pi}} (\sqrt{\sigma_m^2 k^2(t) + \sigma_n^2} - \sigma_n).$$

Эта функция несколько уже диаграммы направленности антенны и поэтому оценка $R(\tau_k)$ будет меньше a . Чтобы учесть этот эффект, необходимо величину $R(\tau_k)$ умножить на поправочный коэффициент

$$\gamma = \frac{a}{R(\tau_k)} = \frac{(\sqrt{\beta^2 + 1} - 1) \sum k_i^2}{\sum k_i (\sqrt{\beta^2 k_i^2 + 1} - 1)},$$

где $\beta = \sigma_m / \sigma_n$.

Окончательно имеем

$$\sigma_m = \sqrt{((\pi / (2 \times 2.88))^{1/2} \gamma R(\tau_k) + \sigma_n)^2 - \sigma_n^2}.$$

С помощью модельных расчетов мы оценили погрешность оценки дисперсии мерцаний (точнее σ_m), полученной по вышеописанной процедуре. Следует отметить, что мы измеряем дисперсию мерцаний, наблюдаемую в одном луче. Наблюдения в трех соседних лучах дают оценки σ_m в лучах, направленных на склонения δ_1 , δ_2 и δ_3 . Вписывая в эти точки параболу, мы принимаем максимум параболы за величину дисперсии мерцающего источника $\langle \Delta S^2 \rangle$:

$$\langle \Delta S^2 \rangle^{1/2} = \sigma_{m_2} + \frac{(\sigma_{m_3} - \sigma_{m_1})^2}{4(2\sigma_{m_2} - \sigma_{m_1} - \sigma_{m_3})}.$$

в) Оценка склонения мерцающего радиоисточника.

Для оценки склонения мерцающего радиоисточника применяем ту же процедуру, что и при измерении момента кульминации. Используя оценки дисперсии мерцаний в трех соседних лучах, вписываем параболу в три точки (σ_{m_1} , σ_{m_2} и σ_{m_3}) и склонение, на которое приходится максимум этой параболы принимаем за склонение мерцающего источника:

$$\delta = \delta_2 + \frac{13' \text{secz}}{2} \times \frac{\sigma_{m_3} - \sigma_{m_1}}{2\sigma_{m_2} - \sigma_{m_1} - \sigma_{m_3}}$$

где z – зенитное расстояние.

Следует отметить, что при наблюдении очень слабых мерцающих радиоисточников, начиная с некоторого момента, мы будем видеть мерцания только в одном луче, так как в соседних лучах сигнал уже будет меньше шумов. В этом случае погрешность измерения δ следует принять равной половине расстояния между соседними лучами ($13 \text{secz} / 2$).

II. Второй способ

Рассмотренный выше метод обработки наблюдений показал свою работоспособность при обработке наблюдений, в которых нет слишком большого количества помех. Однако, в последние годы, растет уровень помех и их внешнее разнообразие. При этом упала чувствительность наблюдений, и поэтому ниже рассмотрена попытка разработать методику, которая учитывает эти обстоятельства.

В основе метода поиска лежат две составляющие:

- 1) чистка от помех на всех этапах обработки;
- 2) усреднение данных за много дней наблюдений;

Постановка задачи. Начиная с осени 2006 г. на антенне БСА ФИАН проводится ежедневный круглосуточный мониторинг мерцающих источников. Наблюдения проводятся в двух площадках, каждая из которых перекрывает по склонению приблизительно 8° . Используются 16 лучей антенны БСА, запись ведется с частотой опроса 10 Гц.

Необходимо выстроить методику обработки наблюдений так, чтобы была возможность усреднения обработанных данных для увеличения отношения сигнал к шуму, в ходе обработки отделялись ионосферные мерцания от мерцаний на межпланетной плазме, помехи удалялись в автоматическом режиме.

Обработка наблюдений обзора. Суть предлагаемого способа обработки наблюдений проста. Для избавления от коротких помех используется медианная фильтрация с шагом 1.5 с. Она удалит короткие по времени помехи, но в тоже время не испортит мерцания (см. "Первый способ"). Затем используем структурные функции с шагом 0.1^s , 1^s и 10^s . Такие структурные функции в применении к данным обзора выделяют шумы, межпланетные мерцания и ионосферные мерцания. Усредняем данные по минуте и вновь используем медианную фильтрацию. Вторая медианная фильтрация позволит избавиться от помех длительность которых не превышала одной минуты. При этом длительность помехи заведомо короче по времени, чем запись источника ($425^s / \cos \delta$, где δ – это склонение наблюдаемого источника). Следовательно, данные по источнику

не будут испорчены. Далее полученные результаты осредняются за все дни наблюдений с тем, чтобы выделить в записях предельно слабые источники.

Шаги обработки.

1. Запишем выражение для структурной функции первого порядка:

$$D_I(\tau, t) = \langle [I(t + \tau) - I(t)]^2 \rangle,$$

где I – измеряемый поток, τ – временной сдвиг, t – время. При $\tau = 0.1^s; 1^s; 10^s$ в выходных массивах запишутся: шумовая дорожка, шумовая дорожка плюс межпланетные мерцания, шумовая дорожка плюс межпланетные мерцания плюс ионосферные мерцания. Знак $\langle \rangle$ показывает, что данные были усреднены по времени t . В нашем случае $t = 1$ минуте.

Процедура деления структурной функции с шагом 1^s на структурную функцию с шагом 0.1^s позволит максимально уменьшить шумы и выделить межпланетные мерцания. Деление структурной функции с шагом 10^s на структурную функцию с шагом 1^s выделит ионосферные мерцания. Следовательно у нас образуются массивы в которых выделены все источники мерцающие на межпланетной плазме и на ионосфере за день. Каждый из этих массивов прогоняется через диаграммный фильтр. В роли диаграммного фильтра выступает двойная разностная фильтрация с шагом 3 минуты.

После усреднения ежедневных данных мы получаем массивы в которых шумы уменьшены как корень из количества дней наблюдений, соответственно в этих массивах выделены предельно слабые источники мерцающие на межпланетной плазме и на ионосфере.

Остается определить уровни отсека на которых находятся максимальное количество реальных источников и минимальное количество ложных.

Задача поиска мерцаний — это выделение шумового сигнала, связанного с мерцаниями от шумового сигнала, связанного с шумами неба, аппаратуры и т.д.. Очевидно, что усреднение структурных функций за большой промежуток времени должно привести к обнаружению новых слабых компактных радиоисточников.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведено два способа поиска мерцающих радиоисточников. В первом способе на всех этапах обработки выдерживается максимальное отношение полезного сигнала к шуму. Во втором способе поиск мерцающих источников не является оптимальным, но он более подходит для полностью автоматической обработки наблюдений. Улучшение сигнала к шуму достигается в нем осреднением обработанных записей за много дней.