

Д.А. ДЗЮБАНОВ, канд. физ.-мат. наук, с.н.с., зав. отделом, Институт ионосферы, Харьков

А.Е. МИРОШНИКОВ, м.н.с., Институт ионосферы, Харьков

УСТРАНЕНИЕ ИСКАЖЕНИЙ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ НЕКОГЕРЕНТНО РАССЕЯННОГО СИГНАЛА В ПРИСУТСТВИИ ОТРАЖЕНИЙ ОТ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА

В статье описан метод устранения искажений в исходных данных первичной обработки, основанный на анализе временных ходов параметров независимо на разных высотах. Методика включает сглаживание результатов методом скользящих медиан и ганированием. Рассмотрены особенности реализации и результаты применения.

У статті описано метод усунення викривлень у вихідних даних первинної обробки, заснований на аналізі часових ходів параметрів на різних висотах. Методика включає згладжування результатів методом ковзних медіан і ганірування. Розглянуто особливості реалізації та результати застосування.

This paper presents a method of eliminate distortions in the raw data preprocessing, based on the analysis of temporal variation of parameters at different heights. Method involves smoothing results. The features of the implementation and results of the application are considered.

Введение. В последнее время с каждым годом все более проявляют себя последствия технической деятельности человека в околоземном космическом пространстве (ОКП), получившие название “космического мусора” (КМ) [1, 2]. В первую очередь, это детали и обломки космических аппаратов, а также потерянные инструменты и многое другое. Обломки аппаратов образуются, в основном, при самоподрыве отработавших свой ресурс разведывательных спутников, при испытаниях противоспутникового оружия. Довольно редкими, но реальными являются разрушения космических аппаратов при их столкновениях. Так, в 2009 году имело место столкновение спутников “Interkosmos” и “Iridium”. Оба спутника находились на практически полярных орбитах, которые оказались пересекающимися почти под прямым углом. В этом случае образовалось около 60 тыс. обломков размером примерно 1 см.

Уже в настоящее время масса КМ сравнима с массой всего вещества ОКП выше 400 км. Более того, на протяжении последних тридцати лет наблюдается постоянный рост космического мусора, и в настоящее время мы имеем больше 21 тыс. обломков размером свыше 10 см, около 500 тыс. – от 1 до 10 см и больше 100 млн. частичек мусора меньше 1 см, возможность наблюдения которых появилась недавно.

Долговременные наблюдения распределения космического мусора в околоземном пространстве позволяют сделать несколько выводов. Во-первых, оказалось, что космический мусор сосредоточен преимущественно

на высотах 900 и 1500 км. По-видимому, это связано со штатными орбитами функционировавших комических аппаратов, впоследствии превратившихся в КМ. Во-вторых, за последние годы произошли изменения в количестве космических объектов (КО) на указанных орбитах. Теперь основное количество КО приходится на орбиты высотой примерно 900 км (см. рис. 1) [2]. Кроме того, преимущественно эти КО находятся на орбитах, близких к полярным.

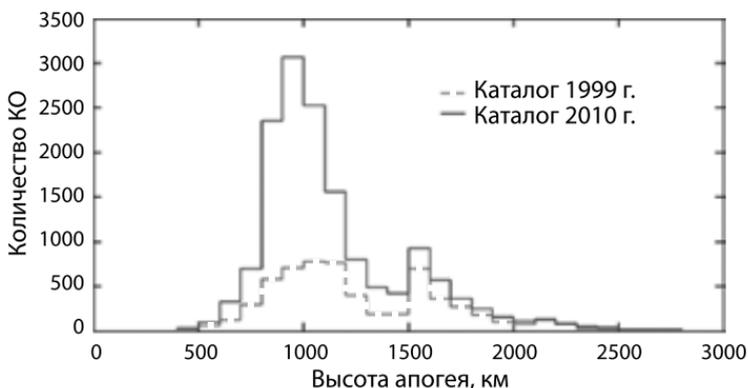


Рис. 1 – Сравнение распределений каталогизированных КО в диапазоне высот 100 – 3000 км по высоте апогея орбиты

На рис. 2 показано, что наклонение большинства орбит изменяется в пределах $70 - 120^\circ$ [2], хотя там же, на примере столкновения спутников “Interkosmos” и “Iridium” показано, что фрагменты не сохраняют первоначальные орбиты спутников, постепенно распределяясь по орбитам с большим диапазоном углов места.

Наиболее заметно наличие КМ сказывается на функционировании космических аппаратов. Частицы разных масштабов, двигаясь со скоростями порядка нескольких километров в секунду, повреждают приборы, солнечные батареи и обшивку космических аппаратов, создавая прямую угрозу жизни космонавтам, находящимся на борту орбитальных станций.

Исследование 2 м^2 теплозащитного покрытия и $0,5 \text{ м}^2$ алюминиевых жалюзи спутника “Solar Max”, доставленных на Землю космонавтами “Space Shuttle”, показало, что за четыре с лишним года их пребывания в космосе на их поверхности образовалось 1910 сквозных отверстий и выбоин диаметром от 40 до 300 мкм, т.е. около 8 отверстий и выбоин на 100 см^2 . Из этого следует, что, например, даже спичечный коробок в космосе испытал бы за это время примерно один удар. Такая экологическая опасность является общеизвестной. Тем не менее, существует еще одна сторона вредного

воздействия КМ. Это помехи, создаваемые прецизионным дистанционным радиофизическим измерениям параметров геокосмической плазмы. В первую очередь, это относится к наблюдениям, проводимым методом некогерентного рассеяния (НР).

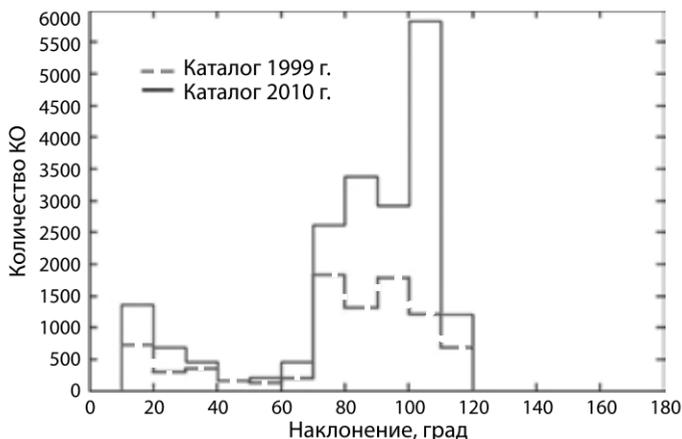


Рис. 2 – Сравнение распределений каталогизированных КО по наклонению

Постановка задачи. Радар НР Института ионосферы позволяет проводить исследования геокосмической плазмы до высот порядка 1000 км. Этот предел не является фиксированным и зависит от приемлемого соотношения сигнал/шум, которое, в свою очередь, определяется уровнем солнечной активности, сезоном, временем суток. Можно с уверенностью говорить, что наиболее значимым источником помех будут элементы КМ, находящиеся на орбитах высотой 900 км. Естественно, отражения будут и от фрагментов, находящихся выше и ниже указанных орбит.

Эффективная поверхность рассеяния от плазмы на высоте 900 км и заключенной в объеме, образованном зондирующим импульсом, составляет около 1 см^2 . Следовательно, элементы КМ уже такой площади, будут создавать помехи, суммируясь с сигналом некогерентного рассеяния, не говоря уже о более крупных фрагментах. Возможности количественной оценки эффективной отражающей поверхности элементов КМ ограничиваются динамическим диапазоном радиоприемного устройства радара.

Многолетние ионосферные наблюдения на радаре НР дали возможность систематизировать и обобщить данные об отражениях от КМ, находившихся в видимости радара [3]. На рис. 3 представлено высотное распределение сигналов радиолокационных отражений от элементов по данным радара НР. Видно, что отражения наблюдались в интервале высот 400 – 1500 км, однако

наибольшая частота их появления имело место в интервале 700 – 1000 км.

Отражения возникают, когда КО пересекают главный, либо боковые лепестки диаграммы направленности. Согласно проведенным оценкам в работе [3], время нахождения космического объекта в видимости радара составляет $t = 0,17 - 2,6$ с. Поскольку минимальная длительность сеанса наблюдений составляет 1 мин, то это значит, что искажен будет весь сеанс. При этом пострадают не только значение мощности принятого сигнала, но и его спектральные характеристики. В дальнейшем значения автокорреляционных функций (АКФ), полученных в минутных сеансах, суммируются группами по 15 мин для получения приемлемого статистического разброса значений, и могут быть искажены данные принадлежащие уже 15-минутным интервалам. Поэтому возникает необходимость устранить значения АКФ, искаженные влиянием отражений от элементов космического мусора. Для этого предлагается методика обработки временных рядов, образованных значениями АКФ, соответствующих всему диапазону дискретных временных задержек, с которыми вычисляются эти АКФ. Методика включает в себя использование сглаживания результатов методом скользящих медиан с последующим ганированием [4].

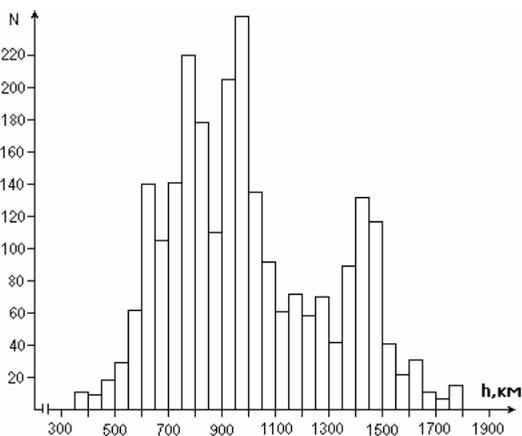


Рис. 3 – Высотное распределение сигналов радиолокационных отражений от элементов по данным радара НР Института ионосферы

Решение задачи. Предлагаемый в статье алгоритм программы работает с бинарными файлами первичной обработки (т.н. “S-файлами”), которые содержат данные с выхода коррелятора за период равный 1 мин: АКФ сигнала некогерентного рассеяния, высотные профили мощности принятого сигнала, сигнал с АЦП коррелятора. Программные алгоритмы работы

коррелятора имеют жесткие рамки, и по этой причине борьба с КМ на этапе записи данных коррелятором затруднена.

С помощью применяемой в Институте ионосферы программы обработки по данным S-файлов производится нахождение параметров ионосферной плазмы, таких как электронная концентрация, ионная и электронная температуры и других. К сожалению, применяемые в программе методы автоматического удаления помех зачастую не дают удовлетворительного результата, а использование ручного “просмотра” и удаления шумовых участков – трудоёмкий и субъективный процесс, требующих высокой квалификации пользователя программы.

Алгоритм отбраковки в существующей программе основан на рассмотрении высотных профилей параметров, в отличие от применяемого в предлагаемой программе анализа временных ходов параметров на разных высотах. Действующая продолжительное время в Институте ионосферы программа обработки написана на языке Basic, и работает в среде MS DOS, что значительно усложняет модернизацию ее алгоритмов (ограниченные размеры массивов, ограниченная визуализация и контроль полученных результатов). Именно поэтому было принято решение написать отдельную кросс-платформенную программу на языке Free Pascal которая бы работала напрямую с S-файлами, производила бы автоматическое “вырезание” шумовых участков, а результат помещался бы обратно в бинарный S-файл, для обработки его традиционной программой обработки. Таким образом, предлагаемая программа является дополнительной попыткой реализовать методики устранения помех анализом временных параметров, полученных непосредственно с коррелятора, в дополнение к уже имеющимся алгоритмам.

На рис. 4 представлен интерфейс программы обработки запущенной в среде Linux. Показан результат фильтрации помех на временном ходе (нулевой точки) АКФ для высоты 583 км.

На первом этапе программа позволяет (по требованию пользователя) отбросить во временном ряде исходных данных значения бóльшие заданной пользователем величины среднеквадратического отклонения (меню *Sigma check*). Затем производится сглаживание данных по тройкам (медианы) в один проход (меню *3-points-once*) или в два прохода на выбор (меню *3-points-twice*), при этом производится сглаживание ганированием. Также можно сгладить медианным сглаживанием по пяти точкам (меню *5-points*). После сглаживания данные записываются в отдельную директорию с исходными данными обратно в S-файлы стандартного формата для дальнейшей обработки (если активировано меню *Save clean séances*).

Выводятся графики до и после сглаживания (в разных масштабах) данных (мощности, АКФ, нуля АЦП). Для построения графиков в одинаковом масштабе необходимо активировать меню *Some scale*. Временные ряды данных для визуализации выбираются в меню *Selection*.

Меню *Files* отвечает за выбор исходных данных, программа “запускается” нажатием кнопки *Run*. Различная диагностическая информация выводится в панель *Log of program*.

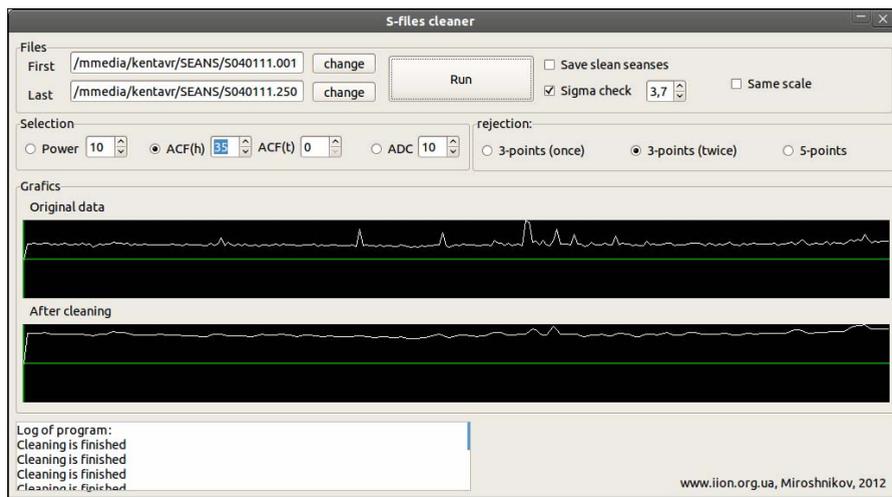


Рис. 4 – Окно программы с результатами работы алгоритма автоматической фильтрации помех

Выводы. Разработанная программа позволяет автоматизировать процесс отбраковки исходных данных, искаженных различными помехами, в том числе и от КМ. Практическое использование такого решения показало очень высокую эффективность в удалении шумовых участков (90 – 95 % помех). Предложенная программа также существенно сокращает время отбраковки данных за счет минимизации влияния человеческого фактора.

Список литературы: 1. Власов М.Н., Кричевский С.В. Экологическая опасность космической деятельности: Аналитический обзор. – М.: Наука, 1999. – 240 с. 2. Вениаминов С.С., Червонов А.М. Космический мусор – угроза человечеству. – М.: Ин-т космич. исследований РАН, 2012. – 192 с. 3. Черняк Ю.В. Определение электронной концентрации ионосферной плазмы методом некогерентного рассеяния радиоволн в режиме двухчастотного зондирования. // Автореферат канд. физ.-мат. наук. – Х.: ИРЭ им. А.Я. Усикова, 2008. – 19 с. 4. Тьюки Дж. Анализ результатов наблюдений. – М.: Мир, 1981. – 696 с.

Поступила в редколлегию 18.10.2012