О МЕТОДИКЕ ВЫДЕЛЕНИЯ СТРУЙ В ОДНОРОДНЫХ ВРЕМЕННЫХ СЕРИЯХ ИЗОБРАЖЕНИЙ СОЛНЦА

Ступишин А.Г.¹, Кальтман Т.И.², Анфиногентов С.А.³

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

³Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

ON THE METHOD FOR SELECTING JETS IN HOMOGENEOUS TIME SERIES OF IMAGES OF THE SUN

Stupishin A.G.¹, Kaltman T.I.², Anfinogentov S.A.³

¹SPbSU, St. Petersburg, Russia

²SAO RAS, St. Petersburg, Russia

³ISTP RAS, Irkutsk, Russia

A method has been developed for automatic search of jets in homogeneous time series of images in extreme ultraviolet using SDO/AIA data. The method is based on the selection of contrasting details in images of the "running difference" (the difference in the intensity of EUV radiation at neighboring time points, for SDO/AIA — 12 s). The found time series of contrasting details are further analyzed by a number of parameters (number of pixels, elongation, the length of the time series) and the decision is made whether to assign the event to the jet class. At the end of the analysis, a report is generated (a text file with parameters of expected jets and a video file with images of intensity, running difference, and expected jets). The method is implemented as a "pipeline" (loading data — cutting a fragment — building a running difference — searching for candidates — building a report) in IDL.

The developed method naturally opens up the possibility of using machine learning methods, which will consist in determining the optimal parameters for image filtering and parameters for event selection (jet). The further goal of the study is to apply the developed methodology for a detailed study of the found jet candidates and to determine the physical mechanisms responsible for the generation, collimation, and dynamics of plasma jets in the Sun's atmosphere.

DOI: 10.31725/0552-5829-2020-285-288

Введение

В данной работе описана версия реализации алгоритма автоматического поиска струй (джетов, jets) в массиве рутинных наблюдений Солнца (в однородных временных сериях изображений в крайнем ультрафиолете по данным SDO/AIA). Разрабатываемый алгоритм автоматизации основан на том, что а) струи быстро меняются и б) струи узкие и длинные. Метод основан на выделении контрастных деталей на изображениях «бегущей разности» (разности интенсивностей излучения в крайнем ультрафиолете (КУФ) в соседние моменты времени, для SDO/AIA — 12 с), и последующем анализе статических особенностей и динамики найденных контрастных деталей. Описание алгоритма выделения струй, шаги реализации метода и результаты его работы описаны ниже.

Алгоритм выделения струй на изображениях

Работу алгоритма покажем на примере струи, наблюдавшейся 28 апреля 2016 10:01:22UT в активной области 12533 (AIA 171Å). Построим разницу интенсивностей (рис. 1) между соседними моментами наблюдений (с каденцией 12 сек).

Рис. 1.

Далее с помощью инновационного алгоритма обработки изображений (итерационное применение фильтров, избирательное сглаживание, повышение контрастности, выделение ярких объектов) мы получаем контрастное изображение деталей (кандидатов в струи) — (рис. 2).

Рис. 2

Для каждой из заметных по площади деталей мы можем оценить параметры детали, такие, как «степень вытянутости» (вытянутость оценивается как отношение характерной длины к характерной ширине), количество пикселей, длина временного ряда. Найденные временные ряды кон-

трастных деталей далее анализируются по этим параметрам (тем самым мы отфильтровываем события, струями не являющиеся: стационарные уярчения петель, вспышки, наблюдательный шум и т.д.) и принимается решение об отнесении события к классу струй. По завершении анализа формируется отчет (текстовый файл с указанием параметров предполагаемых струй и видеофайл с изображениями интенсивности, бегущей разности и предполагаемых струй).

Шаги «конвейера»

Метод реализован в виде «конвейера» (загрузка данных — вырезка фрагмента — построение бегущей разности — поиск кандидатов — построение отчета) на языке IDL и реализует следующие 5 шагов:

- скачивание данных AIA;
- вырезка анализируемого фрагмента диска;
- поиск кандидатов в струи;
- визуализация 1 (статические картинки);
- визуализация 2 (видео).

Каждый этап может быть выполнен отдельно. Все этапы обработки осуществляются для каждой заданной длины волны последовательно.

Результаты работы «конвейера» по выделению струй

Перечислим основные файлы, которые создаются в результате работы описанного алгоритма:

1) Файл в формате "csv" (может быть открыт, например, с помощью Microsoft Excel) с параметрами кандидатов в струи (создается только в том случае, если найден хоть один кандидат). Таблица содержит следующую информацию:

- T start — время начала струи;
- T max — время максимума струи;
- T end — время конца струи;
- Duration — продолжительность;
- Max cardinality — макс. количество пикселей;
- Max aspect ratio — максимальная вытянутость;
- Min aspect ratio — минимальная вытянутость;
- X from, X to, Y from, Y to — координаты ограничивающего прямоугольника (координаты даны за всю историю струи).

2) Изображения (*.png) анализируемого фрагмента изображения диска на заданных длинах волн для каждого момента времени. Для каждого найденного кандидата строится дополнительный подкаталог с изображениями, вырезанными согласно найденному времени существования кандидата и полю зрения (и, соответственно, в более крупном масштабе). Пример таких изображений приведен на рис. 3: на левой панели показана ин-

тенсивность в УФ/КУФ (здесь — черно-белые, в оригинале в цветовой гамме, принятой в миссии SDO/AIA), на правой — бегущая разность (в серой гамме), найденные кандидаты подсвечены справа черным (в оригинале — красным) цветом, в заголовках — время наблюдения и количество найденных пикселей соответственно.

Рис. 3.

3) Видеофайлы (*.mp4), полученные из картинок из предыдущего пункта для анализируемого фрагмента изображения диска на заданных длинах волн. Также для каждого кандидата в соответствующем подкаталоге создаются дополнительные видеофайлы. Результаты работы помещаются в "Каталог горячих струй в короне Солнца", созданный в рамках гранта РФФИ 18-29-21016 (<http://www.spbf.sao.ru/coronal-jets-catalog>).

Выводы

Разработан метод автоматического поиска струй в однородных временных сериях изображений в крайнем ультрафиолете по данным SDO/AIA. Метод реализован в виде «конвейера» (загрузка данных — вырезка фрагмента — построение бегущей разности — поиск кандидатов — построение отчета) на языке IDL.

Разрабатываемая методика естественным образом открывает возможность применения методов машинного обучения, которые будут заключаться в определении оптимальных параметров описанного алгоритма. Дальнейшей целью исследования являются применение разработанной методики для детального изучения найденных кандидатов в струи и определение физических механизмов, ответственных за генерацию, коллимацию и динамику плазменных струй в атмосфере Солнца.

Работа поддержана грантом РФФИ 18-29-21016.