

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ НА СОЛНЦЕ

С.А.Шаров, С.А.Доленко, И.Г.Персианцев

Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В.Скобельцына
МГУ им. М.В.Ломоносова
Россия, 119992, Москва, Воробьевы горы, МГУ, НИИЯФ
тел. +7 (095) 939-46-19
E-mail: sharov_sergey@srd.sinp.msu.ru

Данная статья посвящена исследованию возможности применения вейвлет-анализа для формирования информативных признаков из изображений сложных объектов, присутствующих на поверхности Солнца и в солнечной короне. Анализируемые изображения извлекаются из изображений Солнца, полученных со спутника SOHO – совместного проекта Европейского Космического Агентства (ESA) и NASA. Выделяемые признаки могут быть использованы в дальнейших исследованиях для формирования многомерных временных рядов параметров, характеризующих поведение объектов на Солнце, для последующего анализа с целью прогнозирования наступления каких-либо событий.

Введение

Исследование изображений Солнца представляет собой весьма актуальную задачу. Анализ таких изображений позволяет как получать новую информацию о процессах, происходящих на самом Солнце, так и исследовать солнечно-земные связи.

Изображение Солнца представляет собой очень сложную картину с десятками появляющихся, изменяющихся и исчезающих объектов. Один из распространенных типов объектов – корональные дыры, являющиеся источником корональных выбросов массы, которые, будучи направлены в сторону Земли, при определенных условиях способны вызвать на Земле магнитные бури [4]. Задача прогнозирования геомагнитных бурь требует изучения поведения корональных дыр и других существующих на Солнце объектов.

В общей форме задача анализа изображений Солнца состоит в анализе многомерных временных рядов параметров, характеризующих поведение объектов на Солнце, с целью прогнозирования наступления определённого события (например,

геомагнитной бури) в предположении, что наступлению события всякий раз предшествует явление – некая заранее неизвестная комбинация значений этих параметров. При этом важно уметь локализовать такое явление во времени с хорошей точностью. Для решения этой задачи может быть использован разрабатываемый с участием авторов настоящей работы нейросетевой алгоритм прогнозирования событий и поиска предвестников в многомерных временных рядах [3]. Однако для применения такого алгоритма необходимо существенно снизить размерность входных данных, по возможности сохраняя всю существенную для решения задачи информацию.

В настоящей работе проводится исследование возможности применения вейвлет-анализа для предобработки изображений объектов на Солнце с целью выделения небольшого количества информативных признаков. При этом происходит понижение размерности анализируемой информации, в контексте выявления качественных изменений пространственных свойств объектов на изображении Солнца.

Анализируемые объекты извлекаются из изображений Солнца,

полученных со спутника SOHO – совместного проекта Европейского Космического Агентства (ESA) и NASA (<http://sohowww.nascom.nasa.gov>).

Установленные на спутнике приборы позволяют определять распределение плазмы в солнечной короне на разных высотах за счет исследования изображения Солнца в различных спектральных линиях (приборы EIT – Extreme Ultraviolet Imaging Telescope), измерять магнитные поля (на основе эффекта Зеемана), поля скоростей на поверхности (прибор MDI/SOI – Michelson-Doppler Imager/Solar Oscillations Investigation) и др.

Методика формирования признаков

Объекты, которые необходимо описать с помощью небольшого набора признаков, имеют сложную произвольную форму. Кроме того, они постоянно эволюционируют. Помимо этого, вращение Солнца также вносит деформации в изображение объекта. Для решения поставленной задачи необходимо выделить такие признаки, которые будут устойчивы по отношению к постоянно происходящим деформациям объекта, но при этом смогут хорошо выявлять качественные изменения его пространственных свойств. Для решения этой задачи предлагается использовать вейвлет-преобразование [1,5]. Суть предлагаемой методики заключается в следующем. Мы предполагаем, что при непрерывно происходящей эволюции объекта энергия вейвлет-коэффициентов, соответствующих определенному масштабу, сохраняется. Но когда происходит явление, способное вызвать событие, происходит качественное изменение пространственных свойств объекта, и энергия вейвлет-коэффициентов начинает перераспределяться между различными уровнями детализации.

Пусть w_{ij} - j -ый вейвлет-коэффициент, соответствующий i -му уровню детализации. Энергия, заключенная в нем, равна w_{ij}^2 . Мы используем ортонормированный базис Coiflet6, поэтому суммарная энергия коэффициентов разложения равна суммарной энергии исходного изображения. Энергия на

определенном уровне детализации – это сумма энергий вейвлет-коэффициентов, соответствующих этому уровню

$E_i = \sum_j w_{ij}^2$. В качестве признаков мы

используем доли энергии, сосредоточенной в вейвлет-коэффициентах определенного

масштаба, т.е. $a_i = \frac{E_i}{\sum_j E_j}$. Анализируются

изображения 128x128 точек, декомпозиция производится до 6-го уровня, поэтому количество масштабов равно 6. Сглаживающие коэффициенты, соответствующие усреднению изображения, в данной работе не используются, т.к. они имеют другую нормировку (имеют масштаб яркости объекта, а не масштаб её изменений, и потому не могут использоваться в нормировке коэффициентов на сумму). Соответственно, из каждого изображения выделяются 6 признаков, которые описывают его пространственные свойства. Подчеркнём, что, наряду с энергиями вейвлет-коэффициентов, в качестве формируемых признаков могут использоваться и другие признаки самой разной природы, однако сравнительный анализ результатов использования различных способов формирования признаков лежит за рамками настоящей работы.

Эксперименты

Для проверки выдвинутого предположения об устойчивости нашего метода к различным преобразованиям объекта были проведены эксперименты с модельными объектами. Для экспериментов была выбрана двумерная кривая Гаусса (далее – "двумерный гауссиан") как наиболее простая модель локализованного объекта. Двумерный гауссиан подвергался преобразованиям масштабирования по одной и обеим координатам; полученный "гауссиан" с разными характерными размерами в перпендикулярных направлениях подвергался также преобразованиям вращения. Для моделирования "расходящейся волны" использовался

тороподобный объект, полученный вращением вокруг оси гауссиана с центром, находящимся на фиксированном расстоянии от оси вращения (превышающем характерный размер самого гауссиана). Проведенные эксперименты показали устойчивость набора признаков по отношению к вышеприведенным преобразованиям [2].

Также были проведены эксперименты с реальными изображениями солнечных объектов. Объекты на Солнце имеют сложную 3-мерную пространственную структуру. В то же время, изображения, получаемые с помощью телескопа, представляют собой проекции 3-мерных объектов на плоскость, и не дают представления об объемном распределении плазмы. Для исследования плазмы на различных высотах можно регистрировать изображения Солнца в разных спектральных линиях, то есть выделять излучение, характерное для определенной температуры, и, следовательно, высоты соответствующего слоя. Ультрафиолетовый телескоп EIT спутника SOHO позволяет получать изображения Солнца в четырех спектральных линиях:

- 1) 171 Å (Fe IX-X), температура плазмы 1.3 МК
- 2) 195 Å (Fe XII), температура плазмы 1.6 МК
- 3) 284 Å (Fe XV), температура плазмы 2 МК
- 4) 304 Å (He II), температура плазмы 5-8 МК

На Рис.1 и Рис.3 приведены изображения в линии 195 Å и распределение магнитного поля на поверхности Солнца. На Рис.1 показан объект, с которым происходят качественные изменения, на Рис.3 представлен стационарный объект. Соответствующие изменения вейвлет-признаков показаны на Рис.2 и Рис.4.

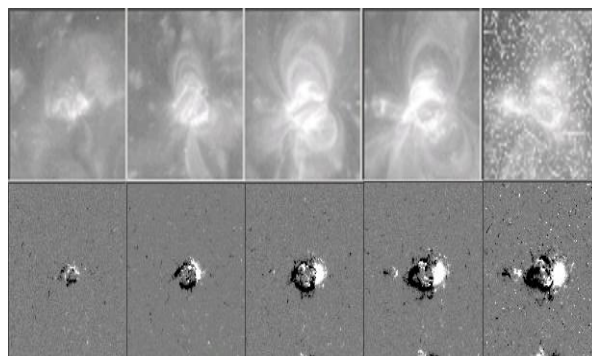


Рис.1. Возникновение и эволюция объекта. Вверху – изображение активной области в линии 195 Å, внизу – её изображение, полученное из магнитограммы.

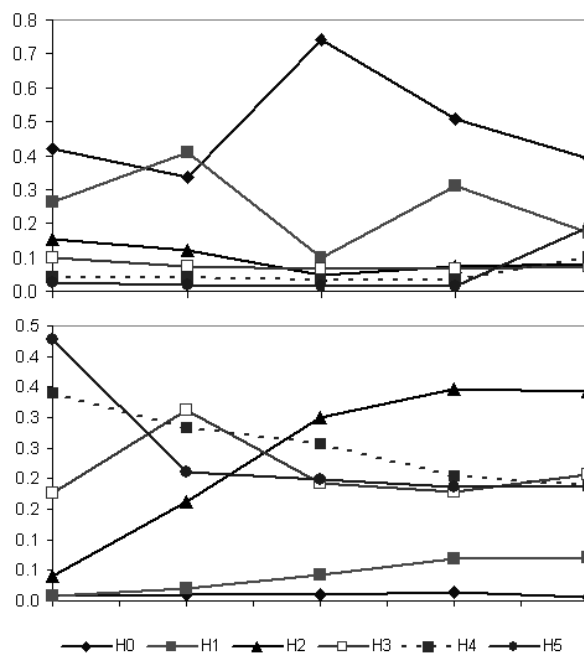


Рис.2. Графики значений вейвлет-признаков, соответствующих изображениям объекта на рис.1. Вверху – признаки, соответствующие изображению объекта в линии 195 Å, внизу - признаки, соответствующие изображению объекта, полученному из магнитограммы.

Анализ динамики вейвлет-признаков для этих и других исследованных объектов позволяет утверждать, что:

1) Вейвлет-признаки стационарных объектов изменяются сравнительно слабо по сравнению с признаками качественно изменяющихся объектов.

2) Характер изменения вейвлет-признаков нестационарных объектов отражает динамику изменения их пространственных свойств.

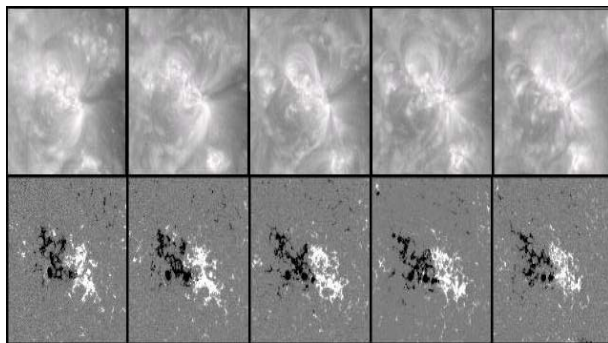


Рис.3. Изображения объекта, полученные через равные промежутки времени. Вверху – изображение активной области в линии 195 Å, внизу – ее изображение, полученное из магнитограммы.

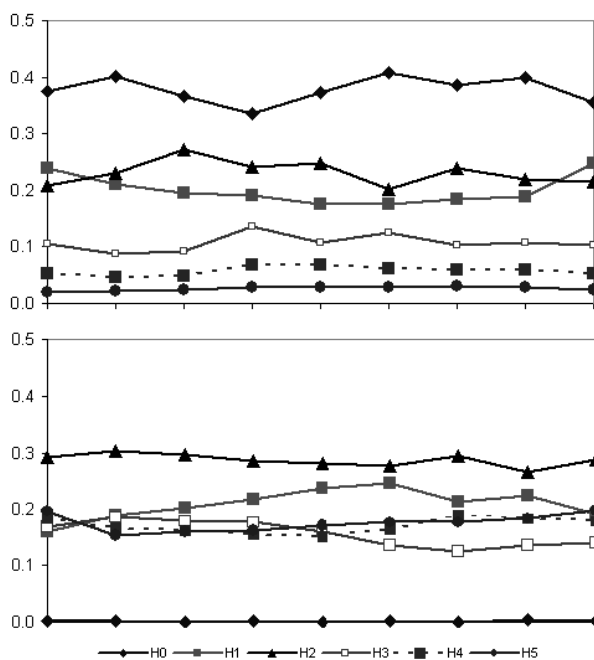


Рис.4. Динамика вейвлет-признаков, сформированных из последовательности изображений объекта, приведенной на Рис.3. Вверху – признаки, соответствующие изображению объекта в линии 195 Å, внизу - признаки, соответствующие изображению объекта, полученному из магнитограммы.

Заключение

Полученные результаты дают все основания предполагать, что вышеописанный алгоритм выделения признаков на основе вейвлет-преобразования может быть успешно применен для выделения информативных признаков изображений объектов на Солнце. Критерием того, насколько в действительности информативными окажутся выделяемые таким способом

признаки, могут служить только результаты применения предложенных признаков для решения практической задачи, например, задачи прогнозирования геомагнитных бурь. В дальнейшем планируется использовать описанные в настоящей работе вейвлет-признаки для предобработки входных данных при решении задачи прогнозирования геомагнитных бурь с помощью нейросетевого алгоритма [3].

Работа выполнялась при частичной финансовой поддержке Министерства промышленности, науки и технологий РФ, Госконтракт № 37.011.1.0016 от 01.02.2002, доп. соглашение №4 от 18.03.2004.

Список литературы

1. И.М.Дремин, О.В.Иванов, В.А.Нечитайло. Вейвлеты и их использование. Успехи физических наук, Май 2001 г., Том 171, №5, стр.465.
2. С.А.Шаров. Применение вейвлет-преобразования для компрессии и анализа изображений в физическом эксперименте. Дипл. раб., физический ф-т МГУ им. М.В.Ломоносова, М., 2004.
3. S.A.Dolenko, Yu.V.Orlov, I.G.Persiantsev, Ju.S.Shugai. A search for correlations in time series by using neural networks. Pattern Recognition and Image Analysis, 2003, v.13, No.3, pp.441-446.
4. Journal of the Communications Research Laboratory, 2002, v.49, No.3,4 (Special Issue on Space Weather Forecast 1,2).
5. G.Strang, T.Nguyen. *Wavelets and Filter Banks*. Wellesley-Cambridge Press, 1996.