

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Е. Золотовский.

Коберси Искандар Сулейман – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: iskobersi@gmail.com; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +79518382131; кафедра систем автоматического управления; к.т.н.; ассистент.

Шкуркин Дмитрий Владимирович – e-mail: dmitry.shkurkin@gmail.com; тел.: +79525788538; кафедра систем автоматического управления; аспирант.

Kobersy Iskandar Souleiman – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: iskobersi@gmail.com; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +79518382131; the department of automatic control systems; assistant.

Shurkin Dmitry Vladimirovich – e-mail: dmitry.shkurkin@gmail.com; phone: +79525788538; the department of automatic control systems; postgraduate student.

УДК 14.2.6

Ф.А. Махмудлу

О БИСПЕКТРАЛЬНОМ ВЕЙВЛЕТНОМ АНАЛИЗЕ ДАННЫХ

Рассматривается вопрос об ассоциативном отображении гиперспектрального анализа на такие принципиальные явления как временная динамика фазовой связи между компонентами в сигналах, выделять в наборах пространственно-временных данных взаимосвязанные и независимые структуры, а также коротко живущие структуры. Это даст возможность идентифицировать индикационные признаки для целей распознавания как отдельных сегментов подстилающей поверхности, так и их корреляцию по их биоспектральному вейвлетному анализу.

Гиперспектральный анализ; распознавание; дистанционное зондирование объектов.

F.A. Mahmudlu

ABOUT BISPECTRAL WAVELET ANALYSIS OF DATA

The article discusses the associative mapping hyper-spectral analysis of such fundamental phenomena as the temporal dynamics of phase coupling between the components in the signals to provide a set of spatial and temporal data related and independent entities, as well as short-lived structures. This will enable the identification of indicator features for recognition as separate segments of the underlying surface, and their correlation to their biospektral wavelet analysis.

Hyper-spectral analysis; pattern recognition; remote sensing facilities.

В настоящее время для того чтобы иметь полную и достоверную информацию при распознавании объектов земной поверхности, получили развитие методы дистанционной индикации растительности, почв экосистем и геосистем [1–4]. Однако эффективность применения данных дистанционного зондирования (ДЗ) в практических целях значительно зависит от однозначной и достоверной интерпретации взаимосвязей между дешифровочными признаками и многочисленными природными факторами.

Направление исследований подобных взаимосвязей получило название геоиндикационное моделирование [5]. В этом случае под геоиндикатором в процессе распознавания гиперспектрального изображения понимается любой признак, описывающий природные характеристики исследуемой местности, с помощью которого на аэрокосмическом изображении с определенной достоверностью можно говорить о наличии того или иного класса объектов поверхности Земли.

При анализе этих данных требуются такие алгоритмы, позволяющие произвести быстрое согласование спектральных признаков, которые могут быть использованы для обнаружения всех элементов изображения местности.

Но, как показал анализ, какие бы методы не использовались, в результате обработки гиперспектральных изображений всегда отобранные признаки (сигналы) оказываются независимыми, что, естественно, уменьшает точность и достоверность полученной информации. Поэтому наиболее действенной мерой повышения точности и достоверности результата является отбор информативной совокупности из всего множества возможности спектральных признаков (сигналов). В этой связи выясняется, что совокупность специально коррелированных друг с другом признаков (сигналов) содержит значительно больше информации (в смысле повышения достоверности распознавания), чем аналогичное количество стохастических независимых признаков.

Отсюда информацию необходимо аккумулировать на основе некоторой структуры, называемой «коррелированным множеством» (CS-correlation set).

Структура коррелированного множества основана на тезисе укрупнения информации таким образом, чтобы она была максимально значащей с семантической точки зрения и минимальной по объему:

$$GS^{def} = \sup_{seman} \inf_V I,$$

где V – объем информации, т.е. с точки зрения семантики метод коррелированного множества позволяет так сжать область комплексных знаний, чтобы по ней в базовом аспекте можно было бы принимать удовлетворительное решение.

В этом контексте в [6] была предложена мультифрактальная модель обработки гиперспектральных данных с целью идентификации индикационных признаков отдельных сегментов подстилающей поверхности.

На базе предложенной модели была составлена эталонная таблица коррелированных множеств CS гетерогенных объектов природы, характеризующихся мультифрактальными размерностями.

Однако коррелированное множество CS в общем случае не подразумевает причинной связи между элементами. Кроме того, мультифрактальные размерности приобретают физический смысл, будучи отображенными на морфологическую шкалу с последующим «сравнением по прототипу», что, в свою очередь, может вызвать элементы неопределенности.

В этой связи в статье рассматривается парадигма, представляющая более тонкий анализ мультифрактальных размерностей, а именно – гиперкогерентный вейвлетный анализ множества сегментов подстилающей поверхности. Необходимо отметить, что когерентность здесь понимается более широко, чем в физике, а именно как согласованное взаимодействие элементов, т.е. в отличие от коррелированного множества – имеет место причинная связь.

В этой связи имеет место следующее:

Постановка задачи

Пусть имеет место процесс сканирования некоторого пространства подстилающей поверхности S . Пусть подмножества $A_1, A_2 \dots A_m$ покрывают S . Выделим на поверхности три сегмента $(A_1, A_2, A_3) \subseteq S$, как это видно на рис. 1.

Задача состоит в проведении когерентного вейвлетного анализа в контексте определения спектральных характеристик сегментов подстилающей поверхности.

Здесь необходимо отметить, что когерентный вейвлетный анализ *множества выделенных сегментов* представляет собой большие трудности. Поэтому наиболее рассмотрение *бикогерентного вейвлетного преобразования* между выделенными элементами.

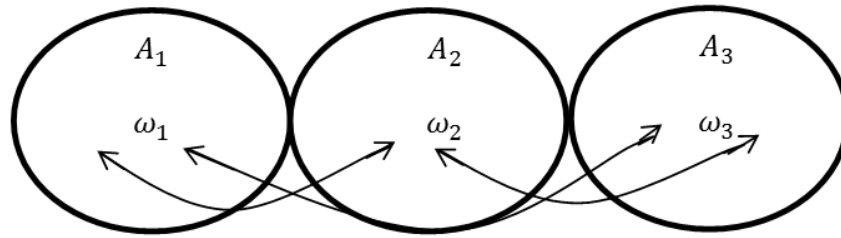


Рис. 1. Бикогерентный анализ выделенных фрагментов

Бикогерентное вейвлетное преобразование представляет собой расчет *вейвлетного биспектра*, являющегося обобщением *вейвлетного преобразования*.

Представим анализируемый процесс в терминах теории сигналов. Тогда бикогерентность характеризует фазовые соотношения (фазовую связь) между различными частотными составляющими в сигнале.

В нашем случае рассматривается связь между частотными составляющими выделенных сегментов.

Пусть выделенные сегменты, например, A_1 и A_2 характеризуются частотами ω_1 и ω_2 , сумма (или разность) которых считается постоянной. Величина бикогерентности является функцией частот ω_1 и ω_2 . Причем

$$\omega_1 + \omega_2 = \omega = const. \quad (1)$$

По аналогии с Фурье-спектром вейвлетный взаимный спектр имеет вид [7, 8]:

$$B_{hg}(S_1, S_2) = \int W_h^*(s, \tau) W_g(s_1, \tau) W_g(s_2, \tau) d\tau, \quad (2)$$

где $s^{-1} = s_1^{-1} + s_2^{-1}$ – правило суммирования частот;

«*» – операция комплексного сопряжения.

Вейвлетный взаимный биспектр есть мера фазовой связи на интервале времени T , проявляется между компонентами вейвлетных спектров $g(t)$ на масштабах s_1 и s_2 и обобщенного спектра $h(t)$ на масштабе S .

Пусть $\omega = 2\pi/s$ соответствует масштабам вейвлетного преобразования. Тогда правило суммирования частот запишется в виде

$$\omega_s = \omega_{s_1} + \omega_{s_2}. \quad (3)$$

Отсюда вейвлетный взаимный спектр может быть интерпретирован как связь между вейвлетами, частоты которых удовлетворяют выражению (3).

Однако реальной характеристикой спектрального анализа выделенных сегментов является вейвлетная взаимная бикогерентность, которая определяется как нормализованный биспектр [7, 9]:

$$b_{hg}(S_1, S_2) = |B_{hg}(S_1, S_2)| X, \quad (4)$$

$$X \left(\int |W_g(s_1, \tau) W_g(s_2, \tau)|^2 d\tau < E_h(s) > \right)^{-1/2} \rightarrow [0, 1],$$

где $< E_h(s) >$ – интегральное распределение энергии по масштабам вейвлетного преобразования.

Таким образом, выражения (2) и (4) позволяют произвести спектральный анализ взаимосвязанных составляющих сегментов

$$[(A_1, A_2), (A_1, A_3), (A_2, A_3)] \subseteq S.$$

При реализации

Возможности методики рассмотрим на примере некоторого модельного сигнала вида [7]:

$$x(t) = a_r \sin(2\pi f_r t) + a_s \sin(2\pi f_s t) + a_t \sin(2\pi f_t t). \quad (5)$$

Пусть имеет место двухчастотный сигнал, удовлетворяющий следующему соотношению:

$$f_r + f_r = f_s + \Delta f, \quad (6)$$

где $f_r = 5$, $f_s/f_r = \sqrt{5}$, т.е. $\Delta f \approx 1,18$.

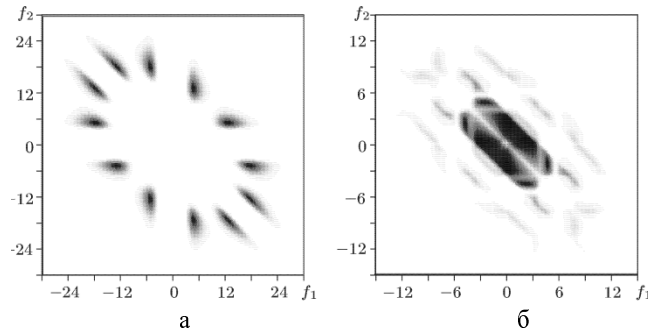


Рис. 2. а) Вейвлетный биспектр; б) Бикогерентность [2]

На вейвлетном биспектре, показанном на рис. 2,а, максимумы имеют высоту того же порядка, что и в случае одночастотного сигнала, и соответствуют тому условию, что хотя бы две из трех частот $f_1 + f_2$, f_1 или f_2 совпадают по абсолютной величине с частотами f_r и f_s в исходном сигнале. Вейвлетная бикогерентность (рис. 2,б) на плоскости (f_1, f_2) показывает отсутствие в сигнале **связанных составляющих**. Здесь необходимо отметить, что сложное распределение бикогерентности в области вблизи окрестности нуля ($f_{1,2} \sim 0$) связано с численными эффектами.

Таким образом, интерпретируя полученный результат в задаче исследований спектрального анализа выделенных сегментов, можно сказать, например, что имеют место не связанные частоты, характеризующие различный физико-химический состав поверхности.

В случае, если не выполняются условия (6), т.е. имеет место соотношение частот вида

$$f_r + f_r = f_s, \quad (7)$$

для данного сигнала, то вейвлетная, бикогерентность на плоскости f_1, f_2 может показать наличие в спектре **связанных составляющих**.

Тогда можно сказать, что связанные частоты ассоциируются с интегральным физико-химическим составом выделенного сегмента поверхности. При нахождении вейвлетного спектра $W(t, s)$ анализируемый процесс считается результатом наложения в любой момент времени статистически некоррелированных процессов на различных временных масштабах и производится оценка распределения мощности среди этих временных масштабов S в каждый момент времени t .

При этом исследуются только линейные механизмы, определяющие динамику процесса, так как фазовые соотношения между частотными составляющими исключаются. Фактически можно сказать, что имеющейся информации в вейвлетном спектре достаточно для полного статистического описания гауссова процесса с известным средним значением. Однако когда анализируемый сигнал содержит сложную структуру различных временных гармоник и либо порождается нелинейной динамической системой, либо появляются отклонения от гауссовости, то одного вейвлетного спектра мощности уже недостаточно для полного описания процесса. В этом случае можно предположить, что в сигнале появляется фазовая связь

между некоторыми частотными компонентами. Тогда информацию, касающуюся отклонений от гауссовости и наличия нелинейностей, а также нечеткости, позволяют получить спектры более высокого порядка, в частности, спектр третьего порядка, или биспектр.

Изложенное выше позволило сформулировать в статье идею об ассоциативном отображении биспектрального анализа на такие принципиальные явления, как временная динамика фазовой связи между компонентами в сигналах, выделять в наборах пространственно-временных данных взаимосвязанные и независимые структуры, а также коротко живущие структуры.

Что касается конкретно поставленной задачи, то эта парадигма дает возможность идентифицировать индикационные признаки для целей распознавания как отдельных сегментов подстилающей поверхности, так и их корреляцию по их биспектральному вейвлетному анализу с последующей расшифровкой их физико-химического состава (распознавание возможных залежей полезных ископаемых).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сочава В.Б.* Введение в учение о геосистемах. – Новосибирск: Наука, 1978. – 320 с.
2. *Виноградов Б.В.* Аэрокосмический мониторинг экосистем. – М., 1984. – 320 с.
3. *Тимашев И.Е.* Геоэкология как эколого-ландшафтная наука // Вестник ВГУ, серия: география, геоэкология. – 2007. – Т. 1.
4. *Николайкин Н.И., Николайкина Н.Е., Мелехова О.П.* Экология. – 5-е. изд. – М.: Дрофа, 2006. – 640 с.
5. *Можжаев Б.Н., Афанасьев Н.Ф.* Геоиндикационное моделирование (с использованием аэрокосмических съемок). – Ленинград: Изд-во “Недра”, 1984. – 245 с.
6. *Тагиев Р.А, Владимирский Э.И., Махмудлу Ф.А., Тагиев Р.Р.* Мультифрактальная модель обработки гиперспектральных данных при дистанционном зондировании объектов подстилающей поверхности // Известия АНАКА. – 2005. – № 4 (8). – С. 27-32.
7. *Короновский А.А., Храмов А.Е.* Непрерывный вейвлетный анализ и его приложения. – М.: Физматгиз, 2003. – С. 176.
8. *Добеши И.* Десять лекций по вейвлетам. – Москва-Ижевск: НИИ «Регулярная и хаотическая динамика», 2004. – 464 с.
9. *Van Milligen B.Ph., Hidalgo C. and Sanchez E.* Nonlinear phenomena and intermittency in plasma turbulence // Phys.Rev.Lett. – 1995. – Vol. 74, № 3. – P. 395.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Н.И. Чернов.

Фирдовси Аладдин оглы Махмудлу – Национальная академия авиации Азербайджана; e-mail: firdovsi@list.ru; г. Баку, 25-й км, пос. Бина; тел: +7994504037608; аспирант.

Firdovsi Aladdin Mahmudlu – National Aviation Academy; e-mail: firdovsi@list.ru; 25 km, settlement Bina, Baku; phone: +7994504037608; postgraduate student.

УДК 681.514

Д.И. Ряшенцева

ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНЫХ НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ КОТЛОАГРЕГАТА

Рассматривается оптимизация параметров котлоагрегата. Построение адаптивной модели предлагается осуществить через использование нечеткой логики из-за сложностей в описании системы. Предлагается использование адаптивной нечеткой модели, которая была выбрана благодаря ее качественной возможности задания экспертом исходных значений. Однако из-за трудностей адаптации предлагается построение гибридной модели, включающей в себя иные структуры, такие как нейросети, регрессионные модели.