Секция 4 «Моделирование геофизических процессов и полей»

ВЫЯВЛЕНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ИОНОСФЕРНЫХ ПАРАМЕТРАХ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СИГНАЛОВ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ foF2

DETECTION OF ANOMALOUS CHANGES IN IONOSPHERIC PARAMETERS ON THE BASIS OF MODEL PRESENTATION OF CRITICAL FREQUENCY foF2 SIGNALS

В.В. Богданов, О.В. Мандрикова,, Ю.А. Полозов

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

In the present report a new method of complicated structure signal processing is suggested. Signal modeling was carried out on the basis of combination of wavelet-transform methods and neural network ones. The suggested approach is discussed in the article on the example of processing of registered critical frequency f_0F2 data of Kamchatka peninsula.

В последние годы в прогностике хорошие результаты были показаны на основе технологий, основанных на нейронных сетях. Использование нейронных сетей здесь предполагает рассмотрение задачи прогнозирования как задачи построения отображения $F: X \to X_f$, где X - множество предшествующих моменту прогнозирования состояний исследуемой динамической системы S, X_f - множество прогнозируемых состояний S [3]. В качестве входных сигналов используются временные ряды. Успех решения задачи прогнозирования реальных статистических данных на основе этого метода зависит от многих факторов. Показатели качества построенного на основе нейронных сетей отображения, во-первых, во многом определяются характеристиками обучающего множества $X' \subset X$. Здесь играет роль представительность имеющейся выборки данных, их зашумленность, а также способ получения обучающих векторов из общего массива имеющихся данных. Для повышения эффективности применения методов нейронных сетей с целью обработки сигналов сложных структур был разработан подход, предполагающий применение методов вейвлет-преобразования совместно с методами нейронных сетей. Процедура обучения нейронной сети выполняется для компонент сигнала, полученных после применения конструкции вейвлет-преобразования. Базовое выражение аппроксимируемой функции, например, для двухслойной нейронной сети с последовательными связями выглядит в этом случае следующим образом:

$y(t) = j\left(\sum_i w_i j_i\left(\sum_j w_{ij}\sum_{l,k}\left\langle x_j, \Psi_{b_0;l,k}\right\rangle \Psi_{b_0}^{l,k}(t)\right)\right)$, $\Psi_{b_0;j,k}(t) = 2^{j/2}\Psi(2^j t - kb_0)$ – базисный вейвлет, $\Psi_{b_0}^{j,k}$ – соответствующий ему двойственный, j, j_i – функции активации, w_{ij} – весовые коэффициенты. Подобное представление аппроксимируемой функции может быть усложнено как путем увеличения числа слоев, изменением числа нейронов в каждом слое нейронной сети, введением перекрестных и обратных связей в структуре нейронной сети, так и заменой конструкции кратномасштабного анализа другой существующей конструкцией многомасштабного представления сигнала [2].

Данный подход был использован для обработки сигналов критической частоты foF_2[1]. С учетом сезонных особенностей сигнала, было решено произвести обучение сети отдельно для каждого сезона. Из сигнала была выделена аппроксимирующая компонента 4-го масштабного уровня дискретного вейвлет-разложения. Далее было произведено вейвлет-восстановление компоненты разложения без учета детализирующих компонент (они предполагались нулевыми), что позволило

восстановить исходную размерность сигнала. На рис.1, в качестве примера, показан результат предварительной обработки данных критической частоты foF_2 за 2001– 2002 г.г. на основе конструкции вейвлет-преобразования. Черным цветом показаны исходные данные регистрации критической частоты, серым цветом показан восстановленный сигнал данных регистрации критической частоты после применения процедуры дискретного вейвлет-разложения на 4 масштабный уровень. В восстановленной компоненте амплитуда колебаний уменьшилась по сравнению с исходными данными, поскольку часть информации перешла в детализирующие компоненты разложения и общая структура сигнала упростилась.

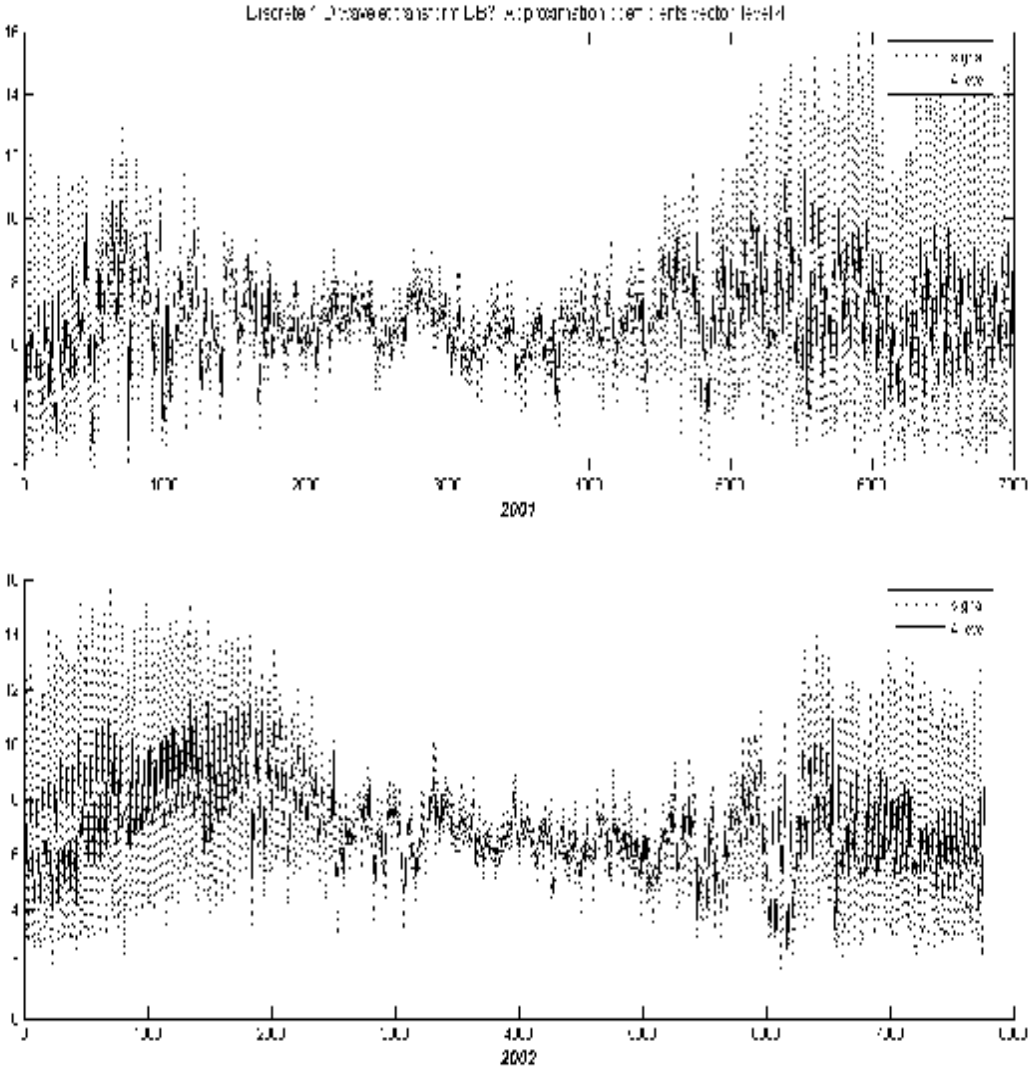

Рис.1. Черным цветом показаны данные регистрации критической частоты (верхний график содержит данные за 2001 г., нижний – за 2002 г.), серым цветом показан восстановленный сигнал данных регистрации критической частоты после применения процедуры дискретного вейвлет-разложения на 4 масштабный уровень (верхний график содержит данные за 2001г., нижний – за 2002 г.).

Далее была построена двухслойная сеть прямой передачи сигнала с сигмоидальным и линейным слоями (рис.2). Сеть обучалась с помощью алгоритма Левенберга-Марквардта. На вход сети подавался вектор длиной 168 отсчетов, что соответствует периоду времени снятия показаний, равному одной неделе. Данный интервал времени был определен экспериментальным путем. Проверка на тестовом множестве показала хорошие результаты работы этой сети.

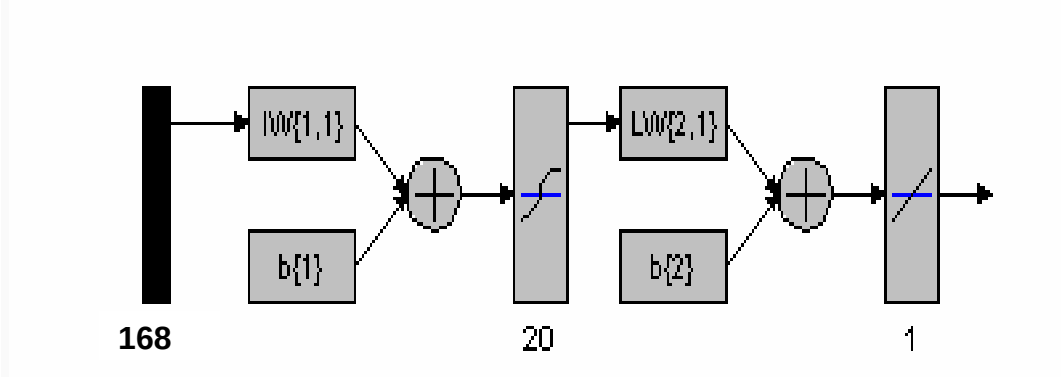

Рис.2. Структура нейронной сети.

На рис.3 показан результат работы сети, в качестве тестовой выборки использовались восстановленные данные критической частоты зимнего периода 1983 г., ошибка сети составила e=0,0026. Далее через обученную сеть были пропущены исходные сигналы. В этом случае сеть также показала хорошие результаты. В отдельные моменты времени наблюдалось увеличение ошибки сети, которое свидетельствовало о наличии в сигнале локальных аномальных особенностей. На рис. 4, в качестве примера, показана ошибка работы сети при подаче на ее вход сигнала критической частоты зимнего периода 1972 г. Сопоставление выявленных аномальных моментов в сигнале с данными сейсмического каталога показало, что в большинстве случаев они наблюдаются накануне сейсмических событий. Таким образом, на основе совместного применения методов нейронных сетей и конструкции вейвлет-преобразования, была построена модель ионосферного параметра, позволившая определить моменты изменения свойств сигнала и идентифицировать их на момент наличия аномалий, приуроченных к процессам подготовки сильных сейсмических событий Камчатского региона.

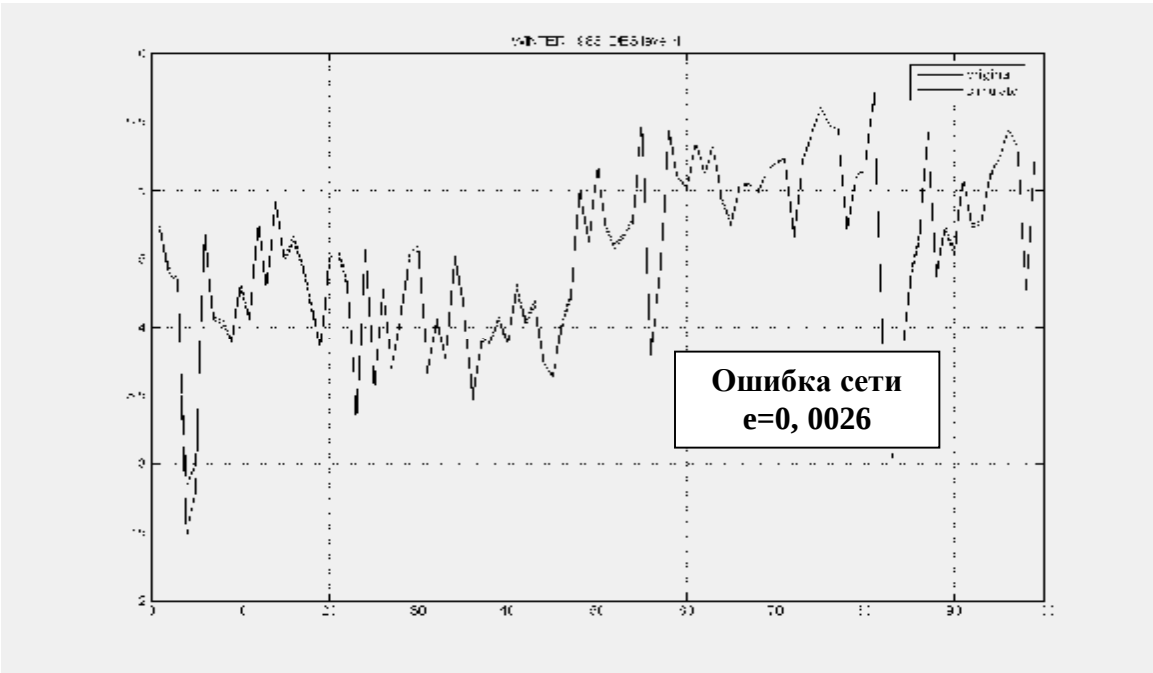

Рис.3. Результат работы сети при подаче на ее вход восстановленных данных регистрации критической частоты зимнего периода 1983 г. после применения процедуры дискретного вейвлет-разложения на 4 масштабный уровень (черным цветом показан восстановленный сигнал регистрации критической частоты зимнего периода 1983 г., серым цветом показан модельный сигнал).

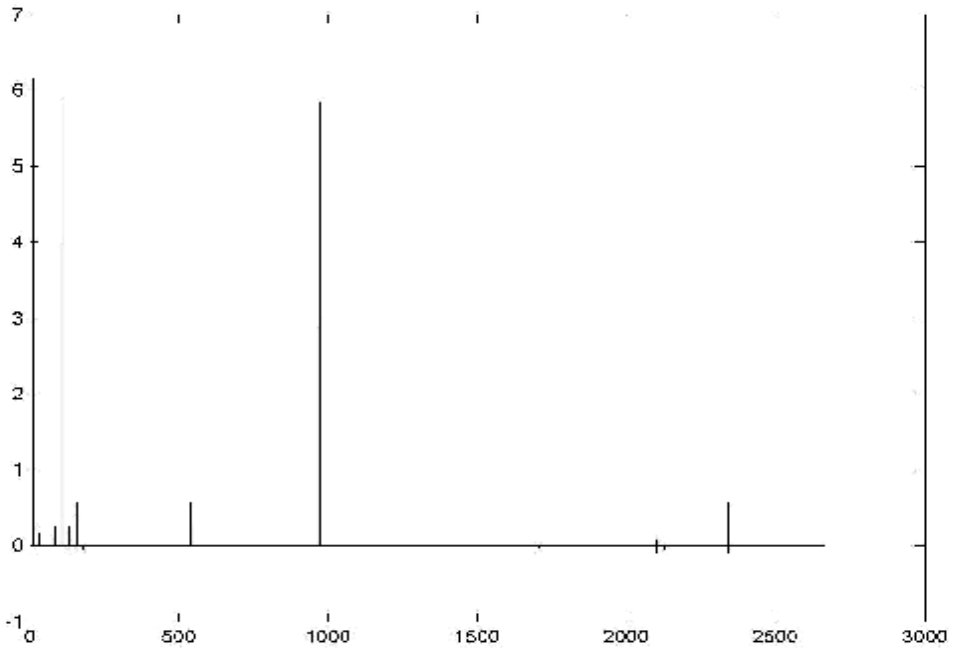

Рис.4.Ошибка сети при подаче на ее вход сигнала критической частоты зимнего периода 1972 г.

Список литературы

1. Богданов В.В., Геппенер В.В., Мандрикова О.В. Моделирование временных рядов геофизических параметров на основе вейвлет-преобразования. – СПб. : СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2006. – 108 с.
2. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам / пер. с английского. – Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2001. – 464 с.
3. Корнеев В.В., Гареев А.Ф., Васютин С.В., Райх В.В. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации. – М. : Нолидж, 2001.