

ВЫДЕЛЕНИЕ ИОНОСФЕРНЫХ МОД С УШИРЕНИЕМ

© 2016 г. А.Е. НЕДОПЕКИН

ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», г. Йошкар-Ола
e-mail: agasfer911@yandex.ru

Введение

Для оперативного определения передаточной функции ДКМ-канала можно использовать непрерывно излучаемый во всем диапазоне линейно частотно-модулированный сигнал [1]. Принятый сигнал ионосферного распространения подвергается сжатию в частотной области путем умножения на сигнал гетеродина приемника, когерентный излученному сигналу [2]. Разностный сигнал оцифровывается и переводится в частотную область, в которой частотно-временная дисперсия канала выглядит, как уширение сигнала по частотному спектру.

Используемые в [3-5] статистические критерии выделения сигнала, основанные на поиске аномальных отсчетов в выборке частотного спектра, при значительном уширении сигнала могут пропускать отсчеты, соответствующие сигналу. Потеря отсчетов уширения может привести к менее точному определению передаточной функции и потере отношения сигнал/шум при применении квазиоптимального фильтра.

Целью работы является разработка метода выделения сигнала ЛЧМ-ионозонда в частотной области, обеспечивающего выделение неаномальных отсчетов, относящихся к уширению сигнала.

1. Уширение сигнала и неаномальные отсчеты

Для выделения сигнала в качестве аномальных отсчетов использовался критерий цензурирования, использующий модифицированную статистику Кохрена [5]:

$$K = (x^*)^2 / \sum_i (x_i)^2, \quad i=1...I, \quad I = \lfloor N \cdot 0.9 \rfloor. \quad (1)$$

Здесь x^* — тестируемый отсчет выборки x , N — объем выборки. Критические значения статистики K определяются по формуле

$$K_{\text{крит}} = 2.2 \cdot (\varepsilon/I)^{0.8}, \quad (2)$$

где ε — эксцесс выборки, соответствующий первым 90% вариационного ряда. Превышение величиной K величины $K_{\text{крит}}$ означает выделение x^* как аномального.

На рис. 1, а показан фрагмент спектра мощности разностного сигнала для сеанса ЛЧМ-зондирования на трассе п. Ловозеро - г. Йошкар-Ола (550 кГц/с, протяженность трассы 1400 км), соответствующий элементу анализа, равному 1 с. На рис. 1, б — этот же спектр после выделения сигнала. Хорошо видно, что не все отсчеты, относящиеся к уширению сигнала, выделены, пропущена так же и слабая мода в районе 1100 Гц (отмечена стрелкой).

Из [6] известно, что при работе критериев цензурирования выборки примени-

тельно к частотной области сигнала ЛЧМ-ионозонда равновероятностная ошибка обнаружения 5% достигается при отношении мощности сигнала к мощности фона 8 дБ. Поэтому целесообразно выделение сигнала проводить в два этапа. На первом выделять аномальные отсчеты. На втором проводить выбор отсчетов в окрестности аномальных отсчетов D , соответствующей оценке уширения моды. Будет осуществляться выбор отсчетов, которые превышают порог обнаружения в 8 дБ.

Из выборки вначале должны быть устранены аномальные отсчеты, выделенные критерием (1), с заменой их на средние значения в окне размера W . Подбор величины W должен обеспечить усреднение по числу отсчетов, большему, чем возможная ширина моды. Полученная выборка с замененными аномальными отсчетами сглаживается медианным фильтром с апертурой W . Для сглаженной выборки строится регрессионная кривая $g_1(F)$, соответствующая сглаженной огибающей шума (рис. 1, в, сплошная линия) и кривая $g_2(F) \approx 2.512 \cdot g_1(F)$, соответствующая уровню 8 дБ относительно первой кривой (рис. 1, в, пунктирная линия).

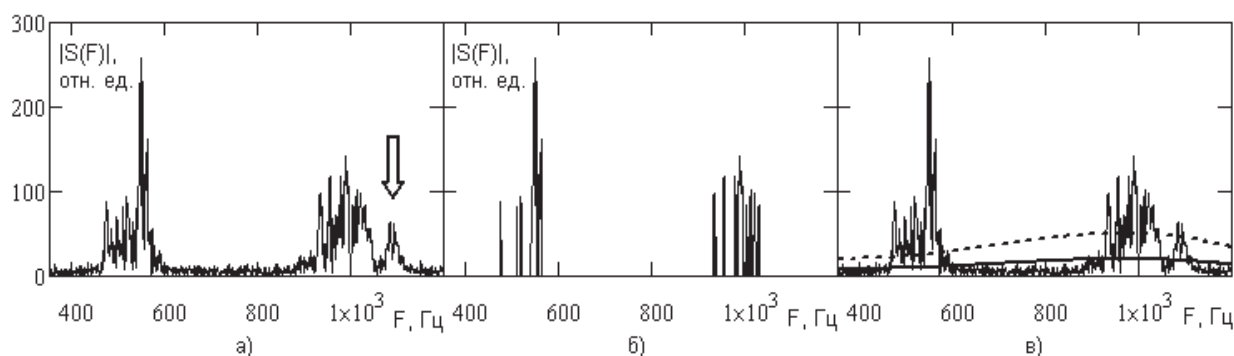


Рис. 1.

Все отсчеты исходной выборки, большие пунктирной кривой, считаются подозрительными на принадлежность сигналу. Среди них возможны ложные выбросы, поэтому необходима оценка уширения D . В качестве D принимается число подозрительных отсчетов, попадающих в окно W . Считается, что все D единиц подозрительных отсчетов должны принадлежать уширению моды, но очевидно, что не все из них окажутся в D -окрестности аномальных отсчетов. Подозрительные отсчеты, не попавшие в D -окрестность аномального отсчета не будут считаться принадлежащими сигналу.

2. Модифицированный метод выделения сигнала

Двухэтапный способ выделения отсчетов будет интерпретировать разностный сигнал в частотной области как двумерный массив (ионограмму), в котором каждый столбец — это отдельный спектр, соответствующий элементу анализа длительностью 1 с. Он образует следующую последовательность.

1. Выделение аномальных отсчетов в каждой спектральной выборке x критерием цензурирования выборки, например (1).

2. Оценка W как среднего расстояния между модами сигнала по массиву, полученному усреднением всех столбцов двумерного массива, содержащего только аномальные отсчеты.

3. Замена всех выделенных аномальных отсчетов в каждой выборке x на средние значения в окне $[i - W/2, i + W/2]$, где i — номер заменяемого аномального отсчета в выборке. Получение новых выборок x_1 .

4. Медианная фильтрация x_1 с окном, равным W , получение массивов x_2 .

5. Построение для каждого массива x_2 регрессионной кривой g_2 в виде полинома 5-ой степени.

6. Определение в массиве x_2 для всех подвыборок размера W положения i_{\max} максимальных аномальных отсчетов и количества D отсчетов массива x , больших, чем значение g_2 и принадлежащих $[i_{\max} - W/2, i_{\max} + W/2]$. Эти отсчеты являются подозрительными на принадлежность к сигналу.

7. Все подозрительные отсчеты, в D -окрестности которых присутствуют аномальные отсчеты, считаются принадлежащими сигналу.

8. Аномальные отсчеты, выделенные на шаге 1 и отсчеты, выделенные на шаге 7 образуют множество отсчетов, принадлежащих сигналу.

3. Апробация

На рис. 2, а представлен пример ионограммы для сеанса на трассе п. Ловозеро - г. Йошкар-Ола (07.07.2014 г., 9:17 МСК, 550 кГц/с), сигнал выделен по критерию (1). Спектры получены по элементам анализа длительностью 1 с со сдвигом относительно друг друга в 0,25 с. На рис. 2, б для каждого спектра с номером m линиями показано количество n отсчетов сигнала, выделенных по критерию (1) (толстая линия) и по двухэтапному алгоритму (тонкая линия).

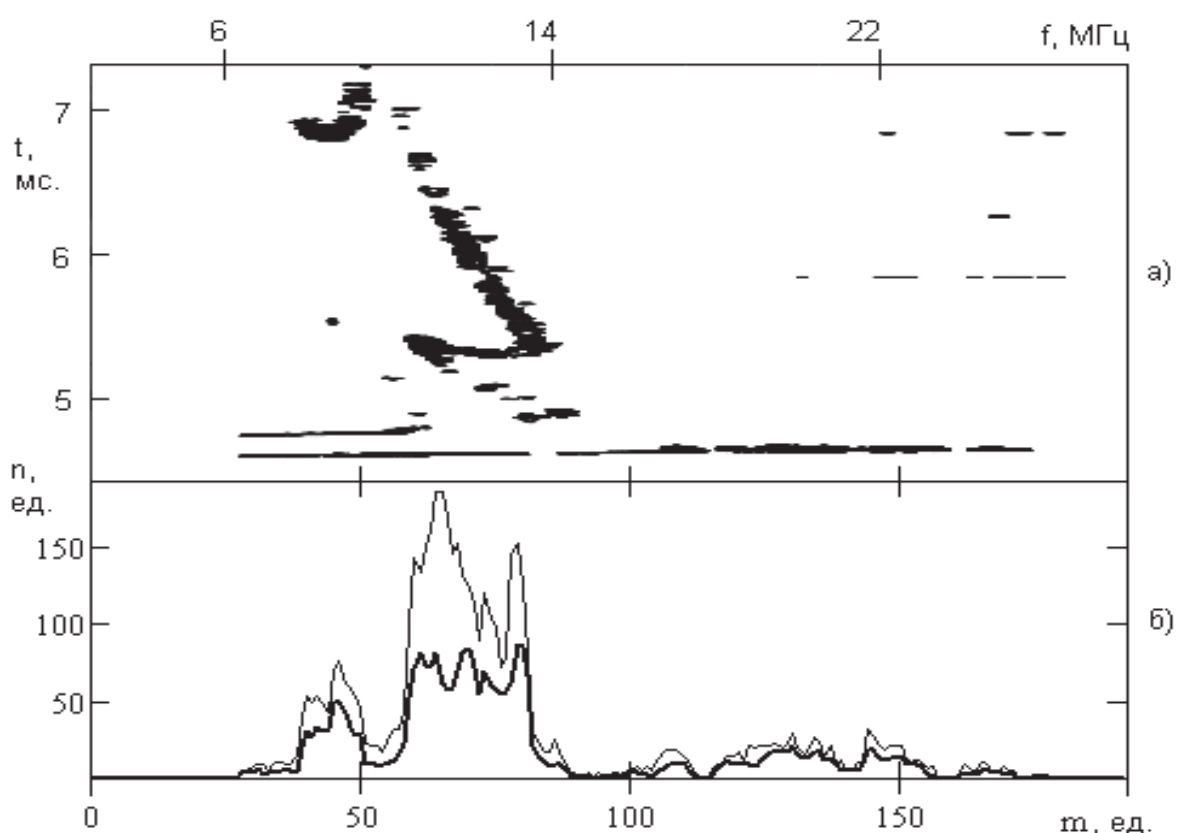


Рис. 2.

Оценка ошибок выделения, проведенная с использованием модели из [7] показала, что ошибка ложного выделения в элементах анализа, не содержащего сигнала, и ошибка пропуска отсчетов сигнала в уширении моды составляют около 4%.

Выводы

В работе разработан и опробован двухэтапный способ выделения сигнала ЛЧМ ионозонда, который может быть применен в условиях наличия значительной частотно-временной дисперсии. Получены приемлемые оценки ошибок выделения. Его применение позволит получить более точные оценки дисперсии канала в автоматическом режиме работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колчев А.А., Шпак Д.Г. Квазиоптимальная обработка широкополосного сигнала с ЛЧМ // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2010. №4. С. 48-52.
2. Иванов В.А., Иванов Д.В., Колчев А.А. Коррекция широкополосных коротковолновых ионосферных радиоканалов // Радиотехника и электроника. 2003. Т. 48. № 6. С. 688-697.
3. Колчев А.А., Щирый А.О. Использование критерия обнаружения промахов при подавлении сосредоточенных по спектру помех // Обозрение прикладной и промышленной математики. – 2006, т.13, в.4. – с. 654-655.
4. Щирый А.О., Недопекин А.Е. Автоматическая обработка данных ЛЧМ-зондирования ионосферы для оценки геофизических параметров // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2014. – №17. – с.301-306.
5. Недопекин А.Е. Адаптация стандартных критериев тестирования статистических выбросов для выделения сигнала ЛЧМ-ионозонда // Журнал Радиоэлектроники: электронный журнал. 2013. № 9. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/sep13/5/text.pdf>
6. Колчев А.А., Недопекин А.Е., Хобер Д.В. Применение методик выделения аномальных отсчетов при обработке КВ сигнала с ЛЧМ // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 2012. Т. 55. № 9. С. 37-46.
7. Недопекин А.Е. Модель смеси фонового шума и сосредоточенных помех при приеме КВ ЛЧМ сигнала // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 2015. Т. 58, №6. С. 505-513.