

ПРИМЕНЕНИЕ ВРЕМЯ-ЧАСТОТНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ

Медведева Е.В., Татауров Р.В., Частиков А.В.

Вятский государственный университет
610000, г. Киров, ул. Московская, 36, E-mail: res@iias.ru

Реферат: исследованы вопросы применимости время-частотных распределений для экспресс-анализа помеховой обстановки.

1. В современных радиотехнических системах, работающих в условиях сложной помеховой обстановки, применяются разнообразные по построению и принципу действия устройства защиты от помех. Однако их функционирование при отсутствии помех во входной смеси может ухудшить эффективность работы радиотехнических систем. Такого рода проблема возникла при защите устройств быстрого поиска шумоподобных сигналов (ШПС) от гармонических помех (ГП) [1], так как было установлено, что эффективность работы в значительной мере зависит от знания момента начала действия ГП и их количества.

Указанную информацию обычно получают при экспресс-анализе помеховой обстановки [2], по результатам которого можно установить факт присутствия ГП и подключить устройства защиты.

2. В работе предлагается использовать при проведении экспресс-анализа помеховой обстановки время-частотные распределения (ВЧР). Актуальность задачи возрастает, когда выборки входной смеси, состоящей из ШПС, гауссовского шума и помех имеют нестационарный характер, и алгоритмы дискретного преобразования Фурье (ДПФ) в этом случае не пригодны.

Наиболее полный обзор ВЧР выполнен в [3,4], где показано, что неограниченное число ВЧР можно получить из распределения вида

$$P(t, \omega) = \frac{1}{4\pi^2} \iiint e^{-j\vartheta t - j\tau\omega + j\vartheta u} \phi(\vartheta, \tau) \cdot s^* \left(u - \frac{1}{2}\tau\right) \cdot s \left(u + \frac{1}{2}\tau\right) du d\tau d\vartheta$$

где $\phi(\vartheta, \tau)$ - некоторая произвольная функция, названная ядром.

Свойства ВЧР зависят от условий, налагаемых на ядро, которое может быть функцией времени и частоты, а также сигнала. Выбирая форму представления ядра, можно получить известные или новые распределения. Располагая общим методом представления ВЧР, можно успешно разрабатывать практические методы анализа и приема сигналов. Особо важным достоинством ВЧР является возможность эффективного исследования свойств нестационарных сигналов, что практически недостижимо классическими методами анализа сигналов.

Для проведения исследований свойств сигналов с наглядным представлением результатов вычисления ВЧР (Вигнера, Цзюя-Уильямса, Пейджа, Коэна, Маргенау-Хилла, Рихачека и т.д.), а так же спектрограмм и функций неопределённости, была разработана инструментальная система в среде MATLAB. Разработанное прикладное программное обеспечение позволяет оценить применимость и эффективность наиболее распространенных ВЧР для экспресс-анализа помеховой обстановки.

3. В качестве тестового сигнала для оценки эффективности различных видов ВЧР, была использована смесь ШПС, белого шума и мощной ГП. Были проведены исследования применимости для задачи экспресс-анализа следующих ВЧР: Вигнера, Цзюя-Уильямса, Пейджа и Рихачека при различных соотношениях мощностей сигнала и помех. Для 64-х отсчетов из сигнала, состоящего из суммы ШПС, ГП ($fT=0,156$) и гауссовского шума одинаковой интенсивности были вычислены ВЧР: Цзюя-Уильямса (рис.1) и Вигнера (рис.2).

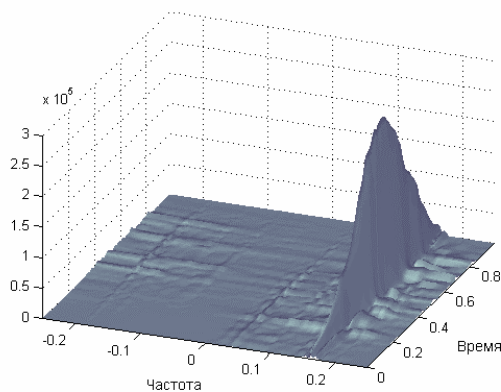


Рис.1

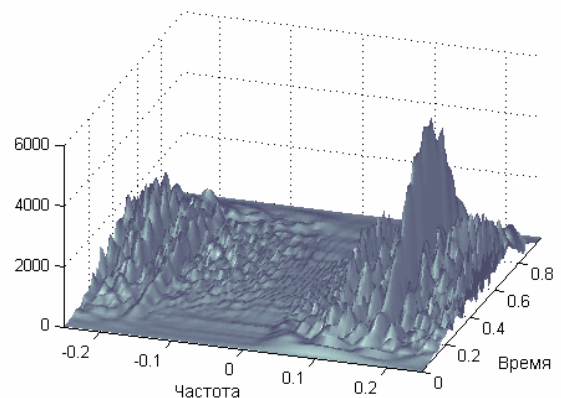


Рис.2

Отметим, что при интенсивности ГП, сравнимой с сигналом и шумом, помеху легко идентифицировать по ВЧР Цзюя-Уильямса. При возрастании мощности ГП вклад остальных компонент в ВЧР становится практически незаметным. Анализ ВЧР Вигнера показал наличие в распределении большого числа побочных компонент, маскирующих признак наличия ГП во входной смеси.

В ходе исследований проводился сравнительный анализ ВЧР по разрешающей способности, уровню перекрёстных составляющих, возможности использовать простые процедуры идентификации ГП. Лучшие результаты показало применение распределения Цзюя-Уильямса, что особенно заметно при использовании сглаживающих «окон». Использование распределения Вигнера приводит к появлению множества побочных компонент, отсутствующих в исходном сигнале и проявляющихся с возрастающей контрастностью при увеличении интенсивности шума. Однако применение «окон» позволяет приблизиться к результатам, полученным с помощью ВЧР Цзюя-Уильямса.

Другие ВЧР (Рихачека, Пейджа, Коэна) являются мало эффективными для достижения поставленной цели, особенно в случае воздействия нескольких ГП и интенсивного шума, которые способствуют маскированию и даже исчезновению признаков, позволяющих идентифицировать ГП.

В большинстве случаев ВЧР не дают значительных преимуществ по сравнению с классическими методами на основе ДПФ. Однако в ряде случаев применение ВЧР, например Цзюя-Уильямса со сглаживающим «окном», для задач анализа даёт лучшие результаты (более гладкий вид функции и меньшее количество шумовых компонент).

Еще большую обоснованность приобретает использование ВЧР для проведения экспресс-анализа при оценивании быстро меняющейся помеховой обстановке, так как позволяет достичь большей эффективности, чем традиционные методы.

4. Время-частотные распределения являются ресурсоемкими с точки зрения практической реализации. Вычислительная сложность определяется длиной анализируемого сигнала, а также размером и видом используемого сглаживающего «окна». Среди билинейных ВЧР, к которым относятся перечисленные распределения, наименьшей сложностью обладает распределение Вигнера, так как в этом случае сглаживающее «окно» не используется:

$$W_{n,\omega} = \sum_{k=1}^L s((n-2k)T)s(kT)e^{-j\omega(2k-n)T}; n, \omega \in Z,$$

где L – длина анализируемого сигнала; T – период дискретизации.

Для получения распределения Вигнера требуется приблизительно $N^2 \times N_{\omega}$ операций умножения, где N_{ω} – число отсчетов по частотной оси. Другие распределения обладают еще большей вычислительной сложностью. Добавление любого окна приводит к увеличению числа операций до величины $N^3 \times N_{\omega}$. Высокие вычислительные затраты при расчете ВЧР снижают привлекательность рассмотренных алгоритмов для разработчиков устройств экспресс-анализа помеховой обстановки с привлечением алгоритмов и средств цифровой обработки сигналов. В то же время использование универсальных цифровых сигнальных процессоров TMS320C6XXX и FPGA платформ Virtex-II Pro (Xilinx) или Stratix (Altera) делает возможным аппаратно-программную реализацию экспресс-анализа помеховой обстановки уже сегодня.

Библиография

1. Частиков А.В. Защита адаптивного устройства поиска псевдослучайных сигналов от узкополосных помех // Высокие технологии в радиоэлектронике, информатике и связи: Вестник Верхне-Волжского отделения Академии технологических наук - Нижний Новгород. - 1999.- Вып. № 1 (6). - С. 158-164.
2. Дятлов В. П., Дятлов П. А. Поиск и обнаружение ДЧ сигналов при проведении радиоконтроля в УКВ диапазоне // Радиолокация, навигация, связь: Сб. тр. V МНТК. - Воронеж, 1999. - В 3 т., т. 2. - С. 1143-1149.
3. Коэн Л. Время-частотные распределения // ТИИЭР 1989, № 10. - С. 72-120.
4. Hlawatsch F. and Boudreaux-Bartels G.F. Linear and Quadratic Time-Frequency Signal Representations // IEEE SP MAGAZINE, april 1992, p.21-58.