

УДК 621.396.

**КОШЕЛЕВ В. И., ГОРКИН В. Н.**

### **ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ УЗКОПОЛОСНОГО ПРОЦЕССА В ПРОЦЕССОРЕ БПФ**

Предложены алгоритмы уточнения оценки центральной частоты узкополосного процесса, которые могут использоваться совместно с обнаружением сигнала в процессоре быстрого преобразования Фурье. Получены аналитические поправки к оценке для некоторых весовых функций (окон). Разработан интерполяционный алгоритм уточнения этой оценки для произвольных окон. Определены выигрыши в точности измерения центральной частоты для различных методов и применяемых весовых функций.

Одним из методов обнаружения доплеровских сигналов является обработка принимаемой выборки в многоканальном фильтре (МФ), перекрывающем заданный диапазон изменения частоты анализируемого сигнала [1]. При использовании предварительной весовой обработки и статистического усреднения данный метод эквивалентен методу модифицированных периодограмм и реализуется на базе процессора быстрого преобразования Фурье (БПФ). При этом наряду с основной задачей обнаружения цели МФ решает задачу измерения ее доплеровской скорости по положению центральной частоты настрой-

ки доплеровского фильтра, на выходе которого амплитуда сигнала достигает наибольшего значения. Спектральная оценка такого типа является смещенной, а ее дисперсия зависит от полосы пропускания канала [2]. Точность измерения скорости зависит от числа каналов МФ. Традиционно выбирается число каналов, совпадающее с числом импульсов  $N$  в когерентной пачке зондирующего сигнала. Число импульсов  $N$  определяется общесистемными параметрами, в том числе требованиями к характеристикам обнаружения. В результате точность измерения скорости, рассчитываемая, как зависимый параметр, может оказаться недостаточной. Для некоторых простейших типов применяемых окон [3] получены различные алгоритмы для уточнения оценки доплеровской частоты узкополосного процесса, однако их применение в одних случаях не дает требуемой точности, т.к. оценивание производится только по двум отсчетам [4], в других уточнение возможно только при применении прямоугольного окна [5].

Поэтому актуальна разработка алгоритмов расчета поправок к оценке частоты для общего случая без наложения ограничений на форму весовых окон и число используемых спектральных отсчетов.

От доплеровского смещения частоты  $f_D$  перейдем к однозначно связанному с ней относительному параметру — изменению доплеровской фазы за период  $T$  повторения импульсов  $\varphi = 2\pi f_D T$ . Полагая доплеровскую фазу радиолокационного сигнала распределенной равномерно в некотором диапазоне  $\Delta\psi$ , дисперсию оценки фазы определим в соответствии с известной из математической статистики поправкой Шеппарда, равной  $\Delta\psi^2/12$ , где  $\Delta\psi = 2\pi/N$  — интервал спектрального разрешения БПФ (фазовая расстройка соседних каналов БПФ).

Предварительное взвешивание отсчетов входного процесса позволяет существенно уменьшить боковые лепестки амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) доплеровского фильтра и, тем самым, влияние пассивных помех на характеристики обнаружения. Однако применение весовых функций, приводит к расширению основного лепестка АЧХ доплеровского фильтра, при этом часть энергии сигнала «перетекает» из канала, имеющего максимальную амплитуду, в соседние каналы процессора БПФ. В результате точность измерения скорости дополнительно снижается. Величина ошибки измерения скорости возрастает при относительно малых значениях  $N$  и использовании весовой функции с малым (менее  $-80$  дБ) уровнем боковых лепестков. Будем полагать в дальнейшем, что на вход обнаружителя поступает лишь один полезный сигнал.

Аппроксимируем входные отсчеты узкополосного процесса формулой:

$$s(n) = A \cdot \exp(j\varphi n), n = \overline{0, N-1},$$

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Рабинер, Гоулд*. Теория и применение цифровой обработки сигналов.— М. : Мир, 1975.— 848 с.
2. *Куликов Е. И.* Методы измерения случайных процессов.— М. : Радио и связь, 1986.— 272 с.
3. *Хэррис Ф. Дж.* Использование окон при гармоническом анализе методом дискретного преобразования Фурье // ТИИЭР.— 1978.— Т. 66.— № 1.— С. 60—96.
4. *Ярхо Т. А.* Определение положения пика спектральной компоненты при быстром преобразовании Фурье // Радиотехника.— Харьков.— 1989.— Вып. 90.— С. 6—11.
5. *Моржаков А. А.* Оценка частоты узкополосного процесса // Радиотехника.— 1988.— № 10.— С. 41—43.
6. *Попов Д. И., Гуськов С. В., Кошелев В. И.* Синтез систем адаптивной обработки по вероятностным критериям // Радиотехника.— 1985.— № 6.— С. 9—12.

Рязанская государственная  
радиотехническая академия.

Поступила в редакцию 25.10.2001.