

УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЧМ ДАЛЬНОМЕРА ПРИ НАЛИЧИИ МЕШАЮЩИХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Паршин В.С., Езерский В.В., Багдаголян А.А.

ООО «Контакт-1»
390010, г. Рязань, ГСП, пр. Шабулина, 18
Тел.:(0912) 53-33-24; Факс.:21-42-18

В различных системах управления и контроля часто необходимо измерять малые расстояния с высокой точностью. Такие задачи могут успешно решаться с помощью радиоволновых дальномеров с непрерывным частотно модулированным излучением (ЧМ дальномеров).

В реальной ситуации, что характерно для измерения расстояния с помощью ЧМ дальномеров в замкнутых объёмах (например, в резервуарах с жидким или сыпучим материалом), измерять частоту заполнения радиоимпульсов ω_p , несущую информацию о дальности, приходится при наличии помеховых сигналов. Источниками этих сигналов являются отражения от элементов конструкций резервуара. Кроме того, в сигнале разностной частоты (СРЧ), снимаемой с выхода смесителя, присутствует и аддитивный шум. Выходной сигнал приёмника ЧМ дальномера при треугольном законе изменения частоты передатчика может быть представлен на интервале времени $0 \leq t \leq T_{mod}/2$ в виде

$$s(t) = s_c(t) + s_m(t) + \xi(t) = S_c \cos\left(\omega_0 t_{zc} + 2\Delta\omega_\delta t_{zc} \cdot \frac{t}{T_{mod}} + \phi_c\right) + \sum_{m=1}^M S_m \cos\left(\omega_0 t_{zm} + 2\Delta\omega_\delta t_{zm} \cdot \frac{t}{T_{mod}} + \phi_m\right) + \xi(t), \quad (1)$$

где ω_0 – минимальное значение частоты передатчика, $\Delta\omega_\delta$ – диапазон перестройки частоты передатчика, T_{mod} – период модуляции, S_c , ϕ_c – амплитуда и фаза полезного сигнала, S_m , ϕ_m – амплитуда и фаза m -ого мешающего отражения, t_{zc} – задержка сигнала соответствующая расстоянию до полезного отражения, t_{zm} – задержка сигнала соответствующая расстоянию до места возникновения m -ого мешающего отражения, $\xi(t)$ – белый нормальный шум.

Для оценки расстояния используем спектральное преобразование сигнала (1), полученного на половине периода модуляции. Погрешность оценки расстояния с помощью спектрального метода зависит от используемого способа оценки частоты СРЧ (методическая погрешность) и отношений сигнал-шум и сигнал-помеха.

Точность измерения частоты (дальности) в спектральной области при использовании базиса Фурье ограничена разрешающей способностью, равной величине, обратной длительности сигнала. Наложение боковых лепестков спектров сигналов также будет приводить к дополнительному смещению спектральных пиков.

Известны методы спектрального оценивания Писаренко, MUSIC, Прони [3], которые по литературным данным имеют преимущество по частотному разрешению по сравнению с классическим спектральным оцениванием. В работе произведено сравнение метода спектрального преобразования Фурье и метода Прони.

В методе спектрального преобразования Фурье использован СРЧ (1), полученный на половине периода модуляции. Искомое расстояние отождествлялось с частотой максимальной спектральной составляющей СРЧ ω_p :

$$|\dot{S}(j\omega_p)| = \max_{\omega_i} \{|\dot{S}(j\omega_i)|\}, \quad (2)$$

где ω_i - значение i -ой дискретной частоты спектра.

На рис.1 приведена зависимость ошибки измерения от дальности, вычисленная с помощью преобразования Фурье по алгоритму (2) для экспериментально полученного СРЧ, снимаемого с выхода смесителя ЧМ дальномера трёхсантиметрового диапазона. Диапазон перестройки частоты составлял 500 МГц. Измерение производилось с использованием накопления СРЧ по 11 реализациям сигнала.

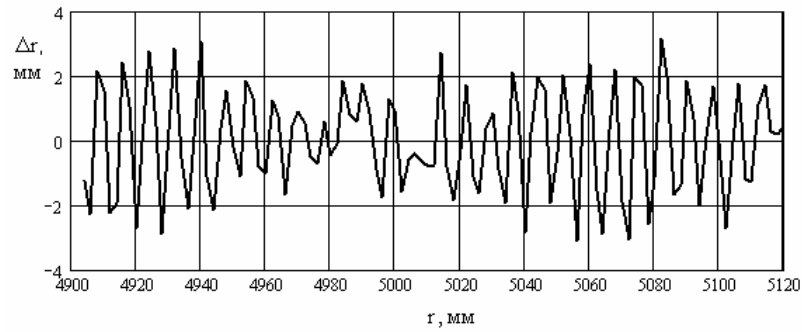


Рис.1.

На рис.2 приведена зависимость ошибки измерения от дальности, полученная в аналогичных условиях с помощью спектрального преобразования Прони. При этом измерение производилось в два этапа:

1. Грубое определение дальности, соответствующее частоте с максимальной спектральной составляющей $\omega_{грубое}$ для порядка модели $p=2$.

2. Определение дальности с высокой точностью по аналогичному алгоритму, но в диапазоне частот $\omega_{грубое} \pm 0.05\omega_{грубое}$ для $p=16$.

Видно, что абсолютный уровень погрешности измерения обоих методов примерно одинаковый. Характер зависимости ошибки измерения от дальности для метода преобразования Фурье носит систематический характер. У метода Прони эта зависимость является хаотической.

Сравнение разрешающей способности рассматриваемых методов по дальности проводилось с использованием численного моделирования. Параметры модели соответствовали указанным выше параметрам реального сигнала.

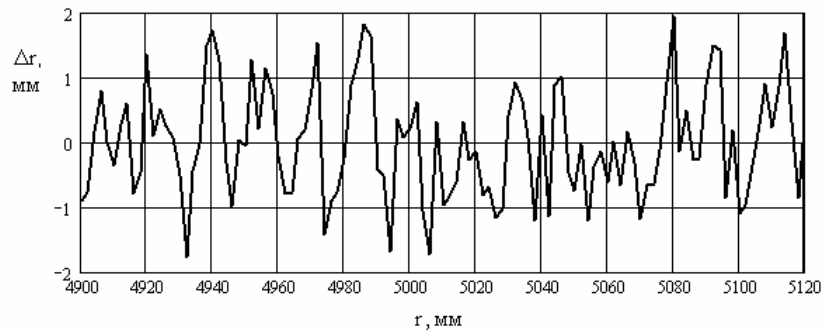


Рис.2.

На рис. 3 приведена зависимость ошибки измерения от дальности для указанного выше метода спектрального преобразования Фурье при наличии мешающего отражателя вблизи полезного. Мешающий отражатель был расположен на расстоянии 15 м. Моделировалось плавное перемещение полезного отражателя мимо мешающего. Полезный отражатель имел амплитуду отражённого сигнала в два раза больше, чем мешающий. Отношение сигнал/шум составляло 50 дБ. Зависимость погрешности измерения от дальности имеет систематический колебательный характер и имеет две периодичности. Одна соответствует изменению положения полезного отражателя на четверть длины волны несущего колебания и вторая соответствует изменению расстояния на величину, соответствующую ширине основного лепестка спектра сигнала. По мере удаления полезного отражателя от мешающего абсолютное значение ошибки снижается.

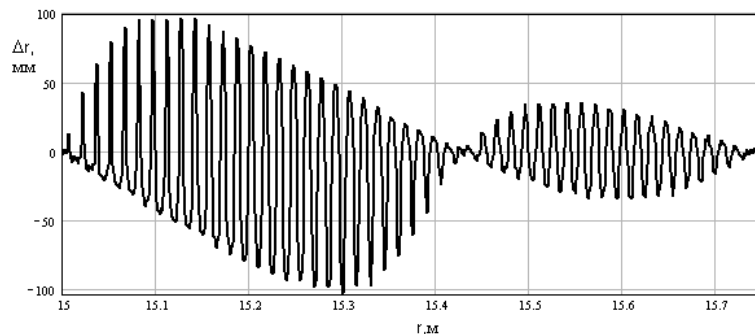


Рис.3.

Полученная ошибка измерения дальности и величина разрешения по дальности недопустимы для уровнемеров, работающих в современных системах контроля и диагностики.

На рис. 4 приведена зависимость погрешности от дальности, полученная в тех же условиях при использовании для спектрального оценивания частоты сигнала метода Прони. Мешающий отражатель был расположен на расстоянии 15,03 м.

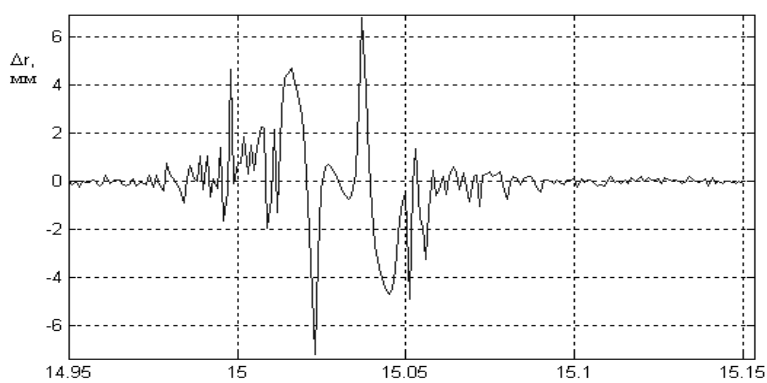


Рис. 4

Абсолютная величина ошибки уменьшается более, чем на порядок. Величина минимального расстояния между полезным и мешающим отражателями, на котором ошибка измерения превышает некоторую допустимую величину, также уменьшается примерно на порядок. Таким образом можно сделать вывод о том, что метод Прони позволяет добиться приемлемых результатов по оценке расстояния в условиях наличия мешающих отражений.

Литература

1. Крот А.М., Минервина Е.Б., Быстрые алгоритмы и программы цифровой спектральной обработки сигналов и изображений, г.Минск, Наука и техника, 1995г.
2. Гаврилов В.Л., Сизов В.П, Оценивание параметров гармонического сигнала на ограниченном интервале наблюдения. Радиотехника, 1998г., №11.
3. Марплл.-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ.-М.: Мир, 1990.-584 с.