

УДК 656.7.

<sup>1</sup>В.П. Квасников, д.т.н., <sup>2</sup>Ю.В. Овчаров, к.т.н., <sup>3</sup>В.В. Дегтяр'єв, к.т.н.**ЛОКАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ФАЗОЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
РАСПОЗНАВАЕМЫХ ЦЕЛЕЙ**<sup>1</sup>Національний авіаційний університет, м.Київ, <sup>2</sup>ТОВ «Торус», м.Черкаси<sup>3</sup>Національний технічний університет України «КПІ»**Вступление**

Одно из важнейших направлений современной локации – создание методов получения наиболее полной информации, содержащейся в локационных сигналах. Локационное распознавание является частью этого направления, и включают в себя получение локационных характеристик распознаваемых объектов, выбор информативных признаков.

Локационными характеристиками объектов при активной локации являются: эффективная площадь рассеивания, спектральная и временная характеристики отраженных от цели сигналов. Эти характеристики, как правило, зависят от ориентации цели, параметров ее движения, размеров, материалов из которых она состоит, а так же от характеристик зондирующих сигналов и способа обработки принимаемых сигналов. Среди методов распознавания по виду используемой информации эффективно применяются методы базирующиеся на анализе фазочастотной характеристики (ФЧХ) распознаваемой цели.

В зависимости от физических эффектов, лежащих в основе локационного распознавания ФЧХ может иметь постоянный, линейно изменяющийся и быстро изменяющийся нелинейный участки. Поэтому, для различных областей локации (радиолокации, гидролокации, средств неразрушающего контроля) необходимо знать, предварительно, в какой частотной области использовать сигналы и какие характерные размеры имеет отражатель и сравнивать получаемые результаты с имеющимися эталонными. Такой подход не приемлем для случаев, когда об отражающем объекте нет предварительной информации.

В целом задачи распознавания основаны на явлении, связанном с отражением сигналов от границы раздела сред. Поэтому анализ фазочастотной характеристики может быть использован как для определения характерных размеров отражателей, так и для контроля других характеристик граничащих сред. Возможность осуществления той или иной задачи определяется выбором рабочих частот, обеспечивающих влияние или, наоборот, отсутствие влияния волновых размеров отражателей.

**Анализ публикаций**

Известен способ распознавания лоцируемых объектов [1], позволяющий выполнять фазовое распознавание отражающих объектов путем измерения промежутков времени между точками перехода через ноль когерентных колебаний, отличающихся по частоте в целое число раз. При этом для оценки частотной зависимости фазы коэффициента отражения используется линейная частотная модуляция каждого из когерентных колебаний с условием сохранения соотношения между частотами на интервале длительности зондирующего импульса.

Близким по технической сущности и достигаемому результату является метод, использующийся в радиолокации для распознавания целей по фазовым сдвигам отраженных сигналов [3]. Как и первом случае, зондирующий сигнал представляет собой сумму когерентных колебаний отличающихся по частоте в целое число раз  $f_1$ ;  $2f_1$ ;  $3f_1 \dots nf_1$ . Обработка отраженных сигналов может быть выполнена двумя способами :

- с использованием только отраженных сигналов;
- с использованием сравнения фаз отраженных сигналов с опорными.

Первый способ предполагает, что отраженные колебания после фильтрации поступают на входы фазовых детекторов  $\Phi Д_{(f_2)}$ ;  $\Phi Д_{(f_3)} \dots \Phi Д_{(f_n)}$ . На вторые входы этих фазовых детекторов действуют сигналы на частотах  $2f_1$ ,  $3f_1, \dots, nf_1$ , которые получены из

отраженного сигнала на частоте  $f_1$ , путем увеличения частоты в 2, 3, ...n раз. Таким образом в  $\PhiД_{(f_2)}$  настроенном на частоту  $f_2$  сравниваются по фазе отраженный сигнал на частоте  $f_2$  и сформированный из отраженного сигнала на частоте  $f_1$  сигнал удвоенной частоты  $f_2 = 2f_1$ . На  $\PhiД_{(f_3)}$  сравниваются по фазе отраженный сигнал на частоте  $f_3$  с сформированным из отраженного сигнала на частоте  $f_1$  сигналом утроенной частоты  $f_3 = 3f_1$ . Подобной обработке подвергаются все сигналы вплоть до сигналов на частоте  $f_n$ . Если принять, что фазы коэффициентов отражения от целей имеют значения  $\varphi_1$  на частоте  $f_1$ ,  $\varphi_2$  на частоте  $f_2$ ,  $\varphi_3$  на частоте  $f_3$ ,  $\varphi_n$  на частоте  $f_n$ , то на выходе фазовых детекторов будем иметь сигналы равные фазовым сдвигам :

$$\text{- для } \PhiД_{(f_2)} \quad \Delta\psi_2 = 2\varphi_1 - \varphi_2;$$

$$\text{- для } \PhiД_{(f_3)} \quad \Delta\psi_3 = 3\varphi_1 - \varphi_3;$$

---


$$\text{- для } \PhiД_{(f_n)} \quad \Delta\psi_n = n\varphi_1 - \varphi_n.$$

В таком виде способ не позволяет определить фазу коэффициента отражения от объекта и предполагает сравнение полученных результатов с известными фазовыми эталонами целей.

Второй способ предполагает, что отраженные сигналы, после фильтрации, сравниваются по фазе с соответствующими опорными сигналами. В результате на выходах фазовых детекторов получаются напряжения пропорциональные фазовым сдвигам:

$$\psi_1 = -\frac{2\pi f_1 2R}{C} + \varphi_1;$$

$$\psi_2 = -\frac{2\pi(2f_1)2R}{C} + \varphi_2;$$

$$\psi_3 = -\frac{2\pi(3f_1)2R}{C} + \varphi_3;$$

---


$$\psi_n = -\frac{2\pi(nf_1)2R}{C} + \varphi_n;$$

где R – расстояние до отражающего объекта, а C – скорость распространения сигналов.

Затем, выходные напряжения фазовых детекторов масштабируются, что бы получить результаты пропорциональные фазам:

$$\psi'_1 = \psi_1 = -\frac{2\pi f_1 2R}{C} + \varphi_1;$$

$$\psi'_2 = \frac{\psi_2}{2} = -\frac{2\pi f_1 2R}{C} + \frac{\varphi_2}{2};$$

$$\psi'_3 = \frac{\psi_3}{3} = -\frac{2\pi f_1 2R}{C} + \frac{\varphi_3}{3};$$

---


$$\psi'_n = \frac{\psi_n}{n} = -\frac{2\pi f_1 2R}{C} + \frac{\varphi_n}{n}.$$

Информация в таком виде позволяет исключить влияние расстояния до цели и характеризовать отражающий объект в следующем виде:

$$\Delta\psi'_{12} = \psi'_1 - \psi'_2 = \varphi_1 - \frac{\varphi_2}{2};$$

$$\Delta\psi'_{13} = \psi'_1 - \psi'_3 = \varphi_1 - \frac{\varphi_3}{3};$$

$$\Delta\psi'_{1n} = \psi'_1 - \psi'_n = \varphi_1 - \frac{\varphi_n}{n};$$

$$\Delta\psi'_{23} = \psi'_2 - \psi'_3 = \frac{\varphi_2}{2} - \frac{\varphi_3}{3};$$

$$\Delta\psi'_{2n} = \psi'_2 - \psi'_n = \frac{\varphi_2}{2} - \frac{\varphi_n}{n};$$

---


$$\Delta\psi'_{3n} = \psi'_3 - \psi'_n = \frac{\varphi_3}{3} - \frac{\varphi_n}{n}.$$

Сформированные таким образом сигналы характеризуют цель и сравниваются с эталонными сигналами, соответствующими различным радиолокационным целям.

Недостатки известных методов в следующем :

- используются частот, отличающиеся в целое число раз, что приводит, при такой значительной разнице между частотами, к влиянию частотной зависимости коэффициента отражения, в результате определяется не значение фазы коэффициента отражения на отдельной частоте, а определенное соотношение между значениями фаз коэффициента отражения на выбранных частотах;

- использующаяся частотная модуляция ( в первом случае) или ряд фиксированных частот(во втором случае) не меняют характер получаемой информации для отдельных пар частот, а позволяют установить лишь частотную зависимость этих соотношений.

#### Постановка задачи

Проанализировать возможность более точного локационного определения фазочастотной характеристики коэффициентов отражения для произвольных целей.

#### Решение задачи

Рассмотрим еще один подход к определению фазы коэффициента отражения, позволяющей оценить линейность фазочастотной характеристики. Предположим, что зондирование неизвестной цели выполняется сигналом включающим в спектр частоты, выбранные из следующего условия:

$$\frac{f_1}{f_3 - f_1} = m_1, \quad \frac{f_2}{f_2 - f_1} = m_2, \quad \frac{f_3}{f_3 - f_1} = m_3, \quad (f_3 - f_1) = 2(f_2 - f_1), \quad (1)$$

где  $m_1; m_2; m_3$ ; - целые числа.

Определим сдвиг фаз отраженных сигналов относительно опорных:

$$\psi_1 = 2\pi f_1 \frac{2R}{C} + \varphi - 2\pi n_1 ;$$

$$\psi_2 = 2\pi f_2 \frac{2R}{C} + \varphi + \Delta\varphi_2 - 2\pi n_2 ;$$

$$\psi_3 = 2\pi f_3 \frac{2R}{C} + \varphi + \Delta\varphi_2 + \Delta\varphi_3 - 2\pi n_3 ,$$

где  $\Delta\varphi_2$  - приращение фазы коэффициента отражения на частоте  $f_2$ , относительно значения  $\varphi$  на частоте  $f_1$

$\Delta\varphi_3$  - приращение фазы коэффициента отражения на частоте  $f_3$ , относительно значения  $(\varphi + \Delta\varphi_2)$  на частоте  $f_2$ .

Выразив из выражения для  $\psi_1$  значение R и подставив его в выражение для  $\psi_2$  и  $\psi_3$  определим фазу  $\varphi$  следующими выражениями:

$$\varphi = \psi_1 m_2 - \psi_2 m_1 - 2\pi \left( \left[ \frac{\psi_1 m_2}{2\pi} \right] - \left[ \frac{\psi_2 m_1}{2\pi} \right] \right) + \Delta\varphi_2 m_1;$$

$$\varphi = \psi_1 m_3 - \psi_3 m_1 - 2\pi \left( \left[ \frac{\psi_1 m_3}{2\pi} \right] - \left[ \frac{\psi_3 m_1}{2\pi} \right] \right) + (\Delta\varphi_2 + \Delta\varphi_3) m_1,$$

где [...] - квадратными скобками обозначены целые числа выражений.

Учитывая то, что по результатам измерений  $\psi_1, \psi_2, \psi_3$  могут быть определены лишь расчетные значения  $\varphi_p$  фазы коэффициента отражения [3]:

$$\varphi_{p1} = \psi_1 m_3 - \psi_3 m_1 - 2\pi \left( \left[ \frac{\psi_1 m_3}{2\pi} \right] - \left[ \frac{\psi_3 m_1}{2\pi} \right] \right);$$

$$\varphi_{p2} = \psi_1 m_2 - \psi_2 m_1 - 2\pi \left( \left[ \frac{\psi_1 m_2}{2\pi} \right] - \left[ \frac{\psi_2 m_1}{2\pi} \right] \right),$$

которые могут быть выражены через истинное значение  $\varphi$  следующим образом

$$\varphi_{p1} = \varphi - \Delta\varphi_2 m_1;$$

$$\varphi_{p2} = \varphi - (\Delta\varphi_2 + \Delta\varphi_3) m_1.$$

Вычитаем из значения  $\varphi_{p2}$  значение  $\varphi_{p1}$ . Получим:

$$\varphi_{p2} - \varphi_{p1} = (\Delta\varphi_2 - \Delta\varphi_3) m_1.$$

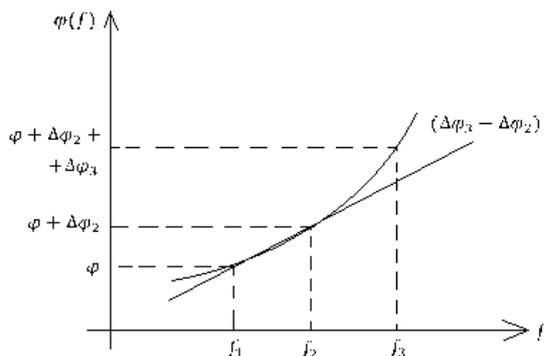


Рис.1 К вопросу определения линейности фазочастотной характеристики коэффициента отражения

зависимость фазы коэффициента отражения в диапазоне частот от  $f_1$  до  $f_n$  по отдельным участкам с близкими частотами:  $f_1, f_2, f_3$ ;  $f_2, f_3, f_4$ ; ...,  $f_{n-2}, f_{n-1}, f_n$ .

### Выводы

В статье описан способ, позволяющий определить линейность ФЧХ между отдельными тремя частотами, используемого спектра, с возможностью расширения измерений на  $n$ -частот.

### Список литературных источников

1. Авторское свидетельство СССР №1598685, G01S15/00. Способ распознавания лоцируемых объектов., В.И.Воробьев, А. В. Клинков и другие, 1988
2. Квасников В.П., Овчаров Ю. В. Методические погрешности определения фазы коэффициента отражения при частотной зависимости. Вісник інженерної Академії України №3-4, 2009. —с.236-239.
3. Небабин В. Г., Сергеев В. В. Методы и техника радиолокационного распознавания. —М. Радио и связь. 1984.-152с.