

УДК 656.7.

¹В.П. Квасников, д.т.н., ²Ю.В. Овчаров, к.т.н., ³В.В. Дегтяр'єв, к.т.н.**ЛОКАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ФАЗОЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
РАСПОЗНАВАЕМЫХ ЦЕЛЕЙ**¹Національний авіаційний університет, м.Київ, ²ТОВ «Торус», м.Черкаси³Національний 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 φ_1 на частоте f_1 , φ_2 на частоте f_2 , φ_3 на частоте f_3 , φ_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 получают 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 φ 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 ψ_1 значение R и подставив его в выражение для ψ_2 и ψ_3 определим фазу φ 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 ψ_1, ψ_2, ψ_3 могут быть определены лишь расчетные значения φ_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 φ следующим образом

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

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

Вычитаем из значения φ_{p2} значение φ_{p1} . Получим:

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

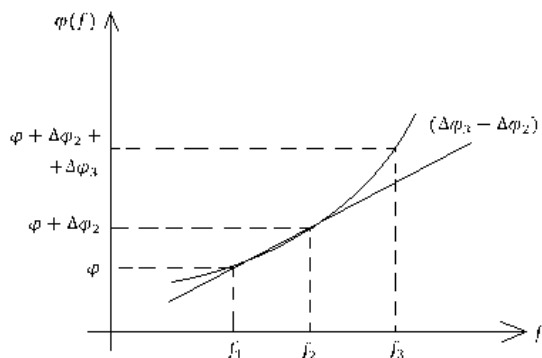


Рис.1 К вопросу определения линейности фазочастотной характеристики коэффициента отражения

Если изменения фазы φ , в зависимости от частоты носит линейный характер (см.рис.1) на участке от f_1 до f_3 , то приращение $\Delta\varphi_2$ и $\Delta\varphi_3$ будут равны друг другу ($\Delta\varphi_2 = \Delta\varphi_3$) и, следовательно, будут равны друг другу и определяемые значения φ_{p1} и φ_{p2} , по которым можно будет судить о линейной частотной зависимости $\varphi(f)$ на следующем частотном участке.

Расширив используемый спектр на n -частот и обеспечив соотношения между ними в соответствии с выражением (1) может быть установлена частотная 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.