

Маклаков В.В.

Надоидентификаторы элементов сложных систем с когерентной фильтрацией сигнала

Аннотация: Предложен метод индуцирования когерентных фильтров – периодических структур импульсами электромагнитного излучения. Такие периодические структуры содержат кодированную информацию о производителях изделий и таким образом исключают использование контрафактных элементов в сложных системах. Данный подход позволяет повысить надежность и безопасность сложных систем.

Ключевые слова: периодические структуры, когерентные излучения, фильтрация сигналов

Введение

Периодические структуры – nanoидентификаторы, сформированные в материалах элементов сложных систем.

Методы. Используются методы квантовой радиофизики.

Результаты. Метод реализуется следующим образом. Рассеянные когерентные волны смешиваются с опорной когерентной волной. Данный процесс порождает бегущие волны интенсивности – интерференционные поля. Такие когерентные интерференционные поля характеризуются высокой степенью избыточности информации. Такой метод позволит создавать в объеме материалов локальные области с модуляцией $\Delta\xi$, т.е. получить фазовые неоднородности с заданным периодом и высоким разрешением.

Суммарное поле интенсивности находим, складывая $\psi_1(r,t)$ и $\psi_2(r,t)$ и умножая результат на сопряженную величину

$$J(r) = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos[\chi r + \Omega t + (\varphi_1 - \varphi_2) - \frac{\pi}{2}] \quad (1)$$

где

a_1a_2 - амплитуды когерентных волн

φ_1, φ_2 их фазы

$\chi = \varphi_1 - \varphi_2, \Omega = \omega_2 - \omega_1$

Выражение описывает плоскую бегущую когерентную волну интенсивности.

Предложенный когерентный метод и новые технические решения позволили разработать алгоритмы, программные средства обнаружения и идентификации малоразмерных подвижных объектов в реальном масштабе времени. Получено математическое выражение, которое описывает интенсивность когерентного сигнала.

$$I_s = \begin{cases} I_b \operatorname{sinc}^2 \left[\pi \frac{\Delta n V t}{\lambda} \right], & 0 < V t \leq d \\ I_b \left[1 - \frac{d}{V t} \right]^2, & V t \geq d \end{cases}$$

где V – скорость объекта, d – размер объекта, T – время.

Рассмотрим случай, когда система обладает низкой разрешающей способностью.

Сигнал на приемном устройстве определяется выражением

$$F = \sum_{k=1}^N \exp(i\varphi_k) - \exp(i\varphi_1) + \exp(i(\varphi_1 + \varphi_1)) + \xi \quad (2)$$

Поле зрения считается разбитым на N независимых ячеек, излучающих волны $\exp(i\varphi_k)$. В ячейке с номером I находится объект, φ_1 – сдвиг фазы, вносимый объектом, ξ – шум, вызванный нестационарностью рельефа.

Мощность, падающая на приемник

$$\begin{aligned} W = FF^* = & \left[\sum_{k=1}^N \exp(-i\varphi_k) - \exp(-i\varphi_1) + \exp(i(\varphi_1 + \right. \\ & \left. + \varphi_1)) + \xi \right] \left[\sum_{k=1}^N \exp(-i\varphi_k) - \exp(-i\varphi_1) + \exp(i(\varphi_1 + \varphi_1)) + \right. \\ & \left. + \xi^* \right] = N + \sum_{p \neq q}^N \exp(i(\varphi_p - \varphi_q)) - \sum_k^N \exp(i(\varphi_k - \varphi_1)) - \\ & - \sum_k^N \exp(-i(\varphi_k - \varphi_1)) + |\xi|^2 - 2 \cos(\psi_1) + \sum_k^N \exp(i(\varphi_k - \varphi_1 - \\ & - \psi_1)) + \sum_k^N \exp(-i(\varphi_k - \varphi_1 - \psi_1)) + \xi \left[\sum_k^N \exp(-i\varphi_k) - \right. \\ & \left. - \exp(-i\varphi_1) + \exp(-i(\varphi_1 + \psi_1)) \right] + \xi^* \left[\sum_k^N \exp(i\varphi_k) - \exp(i\varphi_1) + \right. \\ & \left. + \exp(i(\varphi_1 + \psi_1)) \right] \end{aligned} \quad (3)$$

Средняя мощность, падающая на приемник

$$E(W) = E(FF^*) = N + D(\xi) - 2 \cos(\varphi_1) \quad (4)$$

где $D(\xi)$ дисперсия шума нестационарного рельефа.

Математическое ожидание этого выражения равно

$$2D(\xi)(N - 2 \cos(\psi_1)) = 4Nd(N - 2 \cos(\psi_1)) \quad (5)$$

где d - дисперсия шума одной элементарной ячейки рельефа.

Средняя энергия шума:

$$\sqrt{4Nd(N - 2 \cos(\psi_1))} \quad (6)$$

Пусть за время движения объекта через поле зрения фаза элементарной ячейки рельефа распределена равномерно в интервале $(-1,1)$.

Из этого выражения видно, что влияние нестационарности внешней среды на информационный сигнал объекта является незначительным, т.к. знаменатель дроби растет медленно.

Воспользуемся развитым подходом. Будем вначале считать, что рельеф стационарный. Тогда, т.к. $E(P) = 0$,

$$D = (-\exp(i\varphi_1)) + \exp(i(\varphi_1 + \varphi_1)) * (-\exp(-i\varphi_1)) + \exp(-i(\varphi_1 + \varphi_1)) = 2(1 - \cos(\psi_1)) \quad (7)$$

и средний модуль амплитуды, несущей информацию:

$$\sqrt{2(1 + \cos(\psi_1))} = 2 \left| \sin\left(\frac{\psi_1}{2}\right) \right| \quad (8)$$

Теперь оценим влияние шума. Средняя амплитуда шума

$$\sqrt{D(\xi)} = \sqrt{2Nd} \quad (9)$$

и соотношение сигнал/шум принимает вид:

$$\frac{\sqrt{2} \left| \sin\left(\frac{\psi_1}{2}\right) \right|}{\sqrt{dN}} \quad (10)$$

т.е. точно такое же, как в случае приемника, регистрирующего не амплитуду, а мощность. Теперь можно совершенно аналогично предыдущему варианту представить d через различные другие величины, измеренные непосредственно.

Приведем теперь зависимость между интенсивностью, усредненной во времени комплексной амплитуды и перемещением за время усреднения при различных соотношениях размера объекта и элемента разрешения.

Интервал наблюдения можно разбить на три части.

Объект целиком находится в поле зрения.

Объект частично покинул поле зрения.

Объект полностью покинул поле зрения.

Математическое выражение указанной зависимости, учитывая (2), имеет следующий вид:

$$I'_S = \begin{cases} I_1 = 1 - \frac{d}{L} \left(1 - \frac{1}{1 - 2VT} \right), \lambda \ll VT \ll L \\ \frac{1}{T} \left(\int_0^{L/V} I_1 dt + \int_0^t \frac{I_0 d}{L} t \left(\frac{V}{d} \right) dt \right), t = T - L/V, L + d > VT > L \\ \frac{1}{T} \left(\int_0^{L/V} I_1 dt + \int_0^t \frac{I_0 d}{L} t \left(\frac{V}{d} \right) dt + \int_0^t I_0 dt \right), t = T = \frac{L + d}{V}, VT \gg L + d \end{cases} \quad (11)$$

Проинтегрировав, получим:

$$I'_S = \frac{I_s}{I_b} \begin{cases} 1 - \frac{d}{L} \left(1 - \frac{1}{1 - 2VT} \right), \lambda \ll VT \ll L \\ \frac{(VT - L)^2 + 2I_{ST}L^2}{2LVT}, L + d > VT > L \\ \frac{2I_{ST}L^2 + d^2 + 2L(VT - (L + d))}{2LVT}, VT \gg L + d \end{cases} \quad (12)$$

где I'_S - приведенная интенсивность усредненной комплексной амплитуды в поле зрения

I_s - намеренная интенсивность усредненной комплексной амплитуды в поле зрения.

I_b — интенсивность элемента разрешения фона,

I_{ST} - В момент выхода объекта из поля зрения

L - размер элемента разрешения на фоне (в поле зрения),

d - размер объекта.

Предложенный метод реализован в виде новых технических решений для формирования наноиндентификаторов – периодических структур в различных материалах: органические, не органические и биоорганические. Такие когерентные фильтры обладают высокой дифракционной эффективностью. Возможна регистрация сигналов на значительных расстояниях в условиях пассивных и активных помех.

Литература:

1. Бесконтактный способ контроля нестационарности микрообъектов. Патент №1824000. Маклаков В. В., Лупичев Л. Н. Зарегистрирован 12.10.1992.

2. Устройство бесконтактного контроля нестационарности объектов. Патент на полезную модель. №9304. Маклаков В. В. Зарегистрирован 16.02.1999.

3. Способ маркировки объектов. Патент №2246759. Маклаков В. В. Зарегистрирован 20.02.2005.

4. Способ контроля изменения структуры фазового объекта. Авторское свидетельство №1428063. Маклаков В. В., 1985.

5. Устройство бесконтактного контроля состояния когерентных оптических полей. Патент на полезную модель. №9305. Маклаков В. В. Зарегистрирован 16.02.1999.