Матрица рассеяния целей при сверхширокополосном короткоимпульсном зондировании

О.С. Миронов

ОАО «НПП «Радар ммс», Санкт-Петербург, Новосельковская,37, radar@radar-mms.com.

Предложен метод представления матрицы рассеяния для сверхширокополосного короткоимпульсного сигнала, показано его удобство по сравнению с традиционным представлением через матрицу комплексных коэффициентов передачи/импульсных характеристик.

Для анализа поляризационных свойств целей при сверхширокополосном воздействии традиционно используются метод импульсных характеристик или комплексных коэффициентов передачи. В этом случае отраженный сигнал записывается как свертка излученного сигнала и матрицы импульсных характеристик цели [1]:

$$\begin{pmatrix} \underline{E}_{sc1}(t) \\ \underline{E}_{sc2}(t) \end{pmatrix} = \int_{-\infty}^{\infty} \begin{pmatrix} \underline{s}11(\tau) & \underline{s}12(\tau) \\ \underline{s}21(\tau) & \underline{s}22(\tau) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \underline{E}_{in1}(t-\tau) \\ \underline{E}_{in2}(t-\tau) \end{pmatrix} d\tau \,. \tag{1}$$

Можно аналогично записать это преобразование и в частотной области, используя частотные передаточные характеристики $\underline{S}_{ij}(\omega)$:

$$\begin{pmatrix} \underline{E}_{sc1}(\omega) \\ \underline{E}_{sc2}(\omega) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{S}11(\omega) & \underline{S}12(\omega) \\ \underline{S}21(\omega) & \underline{S}22(\omega) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \underline{E}_{in1}(\omega) \\ \underline{E}_{in2}(\omega) \end{pmatrix}. \tag{2}$$

Однако, такая запись сваливает в одну кучу как поляризационные преобразования, испытываемые сигналом при рассеянии, так и временные, которые необходимо учитывать тщательнее по сравнению с традиционным случаем узкополосной радиополяриметрии. Для разделения этих двух морфизмов предлагается использовать следующий метод.

Пусть в сторону цели по очереди излучается полностью-поляризованные ортогональные по поляризации сигналы $\underline{E}_{in1}(t)$ и $\underline{E}_{in2}(t) = \underline{E}_{in1\perp}(t)$. На вход приемника поступают, соответственно, реполяризованные [1] сигналы $\underline{E}_{rep1}(t)$ и $\underline{E}_{rep2}(t)$ с временной и поляризационной структурами, отличными в общем случае от соответствующих структур излученных сигналов. Далее, естественно желание представить принятые сигналы в поляризационном базисе излученных сигналов (по [1] входной и выходной поляризационные базисы совпадают). Для этого, предлагается использовать метод [2], в соответствии с которым любой реполяризованный сигнал может быть представлен суммой двух ортогональных по поляризации компонент с заданным поляризационным состоянием. Это дает право принятые сигналы представлять в виде: $\underline{E}_{rep1}(t) = \underline{E}_{11}(t) + \underline{E}_{12}(t)$ и $\underline{E}_{rep2}(t) = \underline{E}_{21}(t) + \underline{E}_{22}(t)$. При этом, сигналы $\underline{E}_{11}(t)$, $\underline{E}_{12}(t)$, $\underline{E}_{21}(t)$ и $\underline{E}_{22}(t)$ являются полностью поляризованными, а сигналы $\underline{E}_{11}(t)$ и $\underline{E}_{21}(t)$ будут иметь такие же поляризационные параметры как $\underline{E}_{in1}(t)$, а сигналы $\underline{E}_{12}(t)$ и $\underline{E}_{22}(t)$ - такие же как $\underline{E}_{in2}(t)$.

Теперь, когда мы в своих рассуждениях ушли от реполяризованных сигналов к полностью поляризованным, обратим внимание и на временную структуру сигналов $\underline{E}_{11}(t)$, $\underline{E}_{12}(t)$, $\underline{E}_{21}(t)$ и $\underline{E}_{22}(t)$. Так, сигнал $\underline{E}_{11}(t)$ можно разложить следующим образом: $\underline{E}_{11}(t) = \sum_k \underline{S11}_k \underline{\tilde{e}}_k(t)$, $k = 0...\infty$, причем поляризация ортонормированных базисных функций $\underline{\tilde{e}}_k(t)$ должна быть выбрана такой же как и у $\underline{E}_{11}(t)$ а значит и у $\underline{E}_{in1}(t)$.

Аналогично записываются и остальные сигналы $\underline{E}_{12}(t)=\sum_k \underline{S12}_k \underline{\tilde{e}}_{\perp k}(t)$, $\underline{E}_{21}(t)=\sum_k \underline{S21}_k \underline{\tilde{e}}_k(t)$, $\underline{E}_{22}(t)=\sum_k \underline{S22}_k \underline{\tilde{e}}_{\perp k}(t)$, причем базисная функция $\underline{\tilde{e}}_{\perp k}(t)$ поляризационно-ортогональна с $\underline{\tilde{e}}_k(t)$ соответствует по поляризации сигналу $\underline{E}_{in2}(t)$.

Наложим некоторые ограничения на $\underline{\tilde{e}}_k(t)$ и $\underline{\tilde{e}}_{\perp k}(t)$ соответственно. Положим, что первые базисные функции в $\underline{\tilde{e}}_k(t)$ и $\underline{\tilde{e}}_{\perp k}(t)$ равны, соответственно $\underline{E}_{in1}(t)$ и $\underline{E}_{in2}(t)$ с точностью до масштабного коэффициента: $K\underline{\tilde{e}}_k(t)=\underline{E}_{in1}(t)$ и $K\underline{\tilde{e}}_{\perp k}(t)=\underline{E}_{in2}(t)$

Запишем факт рассеяния как:

$$\underline{E}_{in1}(t)\xrightarrow{\text{рассеяние}}\underline{E}_{rep1}(t)=\sum_k \underline{S11}_k \underline{\tilde{e}}_k(t)+\sum_k \underline{S12}_k \underline{\tilde{e}}_{\perp k}(t),$$

$$\underline{E}_{in2}(t)\xrightarrow{\text{рассеяние}}\underline{E}_{rep2}(t)=\sum_k \underline{S21}_k \underline{\tilde{e}}_k(t)+\sum_k \underline{S22}_k \underline{\tilde{e}}_{\perp k}(t). \qquad (3)$$

Учитывая свойство первых членов ряда, перепишем эти выражения следующим образом:

$$K\underline{\tilde{e}}_0(t)\xrightarrow{\text{рассеяние}}\sum_k \underline{S11}_k \underline{\tilde{e}}_k(t)+\sum_k \underline{S12}_k \underline{\tilde{e}}_{\perp k}(t),$$

$$K\underline{\tilde{e}}_{\perp 0}(t)\xrightarrow{\text{рассеяние}}\sum_k \underline{S21}_k \underline{\tilde{e}}_k(t)+\sum_k \underline{S22}_k \underline{\tilde{e}}_{\perp k}(t), \qquad (4)$$

где K - амплитудный коэффициент, который, как нефункциональный, можно считать равным единице.

Таким образом, можно записать:

$$\begin{pmatrix}\underline{E}_{rep1}(t)\\ \underline{E}_{rep2}(t)\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\underline{S11}_0 & \underline{S12}_0\\ \underline{S21}_0 & \underline{S22}_0\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\underline{\tilde{e}}_0(t)\\ \underline{\tilde{e}}_{\perp 0}(t)\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}\underline{S11}_1 & \underline{S12}_1\\ \underline{S21}_1 & \underline{S22}_1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\underline{\tilde{e}}_1(t)\\ \underline{\tilde{e}}_{\perp 1}(t)\end{pmatrix}+\ldots+\begin{pmatrix}\underline{S11}_N & \underline{S12}_N\\ \underline{S21}_N & \underline{S22}_N\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\underline{\tilde{e}}_N(t)\\ \underline{\tilde{e}}_{\perp N}(t)\end{pmatrix}, \qquad (5)$$

Или проще

$$\begin{pmatrix}\underline{E}_{rep1}(t)\\ \underline{E}_{rep2}(t)\end{pmatrix}=\sum_k\begin{pmatrix}\underline{S11}_k & \underline{S12}_k\\ \underline{S21}_k & \underline{S22}_k\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\underline{\tilde{e}}_k(t)\\ \underline{\tilde{e}}_{\perp k}(t)\end{pmatrix}, \qquad (6)$$

При таком представлении, набор матриц $\begin{pmatrix}\underline{S11}_k & \underline{S12}_k\\ \underline{S21}_k & \underline{S22}_k\end{pmatrix}$ полностью описывает рассеивающую способность цели, тогда как системы ортонормированных базисных функций $\underline{\tilde{e}}_k(t)$ и $\underline{\tilde{e}}_{\perp k}(t)$ описывают преобразования произошедшие с формой сигнала.

Частным случаем может стать разложение сигналов в гармоническом базисе Фурье и вычисление поляризационных параметров для каждой спектральной составляющей. Существует так же вариант построения базиса на основе использования производных зондирующего импульса, ортогонализированных по методу Грамма-Шмидта.

Литература:

1. Козлов Н.И., Логвин А.И., Сарычев В.А. Поляризация радиоволн. Кн. 3. Радиополяриметрия сложных по структуре сигналов. – М.: Радиотехника, , 2008. – 688 с.
2. Миронов О.С. Исследование поляризационных характеристик сверхкороткоимпульсных сигналов. // Антенны, №8. 2010. 8-12