

МЕТОДЫ КОМПЕНСАЦИИ ВЛИЯНИЯ ИСКАЖЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО БАЗИСА РЛС С РАЗНЕСЕННЫМ ПРИЕМОМ

к.т.н. А.Е. Казаков

(представил д.т.н., проф. А.И. Стрелков)

В статье проводится анализ применимости существующих методов компенсации влияния искажения поляризационного измерительного базиса (ПИБ) для РЛС с разнесенным приемом. Разработаны предложения по использованию крест - вибратора для определения характеристик реального ПИБ РЛС с разнесенным приемом.

Как показано в ряде работ [1], искажение ПИБ РЛС, вызванное конечной величиной развязки по поляризации, приводит к появлению значительных ошибок измерения элементов поляризационной матрицы рассеяния (ПМР) наблюдаемых целей. Это в свою очередь, если не принять специальных мер по компенсации данных ошибок, послужит причиной существенного снижения в эффективности распознавания целей.

Разработанные к настоящему времени методы компенсации влияния искажения ПИБ РЛС на элементы ПМР цели можно разделить на методы расчета элементов ПМР целей в неискаженном измерительном базисе РЛС с учетом характеристик реального ПИБ и методы использования контрольных сигналов для компенсации влияния характеристик реального ПИБ РЛС на измеряемые элементы ПМР цели.

Рассмотрим более подробно метод, основанный на введении в приемные каналы РЛС дополнительных элементов, с помощью которых можно до начала работы РЛС по реальным целям по сигналам с известной амплитудами и фазами (контрольным сигналам), осуществить подстройку приемных каналов РЛС. Это позволяет скомпенсировать ошибки, появляющиеся при измерении элементов ПМР цели.

Проанализируем возможность использования сферы как эталонного отражателя для РЛС с разнесенным приемом. Основной характеристикой РЛС, проводящей измерение элементов ПМР целей, является развязка по поляризации между ее ортогональными каналами. Развязка по поляризации обычно описывается отношением амплитуд основной поляризации отраженного от недеполяризующей цели сигнала и крестовой составляющей данного сигнала. Для установления возможности использования сферы как эталонного отражателя для РЛС с разнесенным приемом рассмотрим как измененяется развязка

по поляризации при изменении угла разноса между совмещенной и вынесенной приемной позицией РЛС. Рассмотрение проведем с использованием экспериментальных данных, полученных на измерительном комплексе [2]. Для этого была использована металлическая сфера диаметром 20 см. Она облучалась плоской электромагнитной волной вертикальной или горизонтальной поляризации и измерялись напряжения отраженных сигналов одновременно вертикальной и горизонтальной составляющих. По отношению измеренных напряжений основной и кроссовой составляющих отраженных сигналов оценивалась величина развязки по поляризации. Полученные числовые характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1

Развязка по поляризации

Угол разноса, град.	0		13		26		52	
	верт.	гор.	верт.	гор.	верт.	гор.	верт.	гор.
Развязка по поляризации, дБ	31,8	8,8	22,4	22,6	19,2	18,2	12,2	10

Данные свидетельствуют об увеличении "деполяризирующих" свойств объекта сферической формы. Это происходит из-за того, что со стороны вынесенного приемника будут видны другие линии токов равной интенсивности наведенные на сфере, чем со стороны передатчика. Следовательно, при разнесенном приеме и излучении сигнала линейной поляризации поля рассеянного сферой сигнала будут эллиптически поляризованными, что и приводит к снижению развязки по поляризации. Полученные данные показывают, что использование сферы для калибровки трактов РЛС с разнесенным приемом является весьма проблематичным. Однако по "деполяризирующим" свойствам сферы (развязке по поляризации рассеянного сферой сигнала) могут быть определены углы наклона эллипса поляризации (θ) и эллиптичности (α) сигнала, отраженного от сферы по отношению к каждому орту ортогонально поляризованного измерительного базиса РЛС. Эти углы определяются в соответствии с выражением [3]:

$$\theta = 0,5 \arctg \left[\frac{2p}{1-p^2} \cdot \cos \delta \right]; \quad \alpha = \arctg \sqrt{\frac{p^2 - \tg^2 \theta}{1 - p^2 \tg^2 \theta}}, \quad (1)$$

где $p = \frac{1}{\text{antlg}(K_{\text{сф}}/20)}$ - модуль поляризационного коэффициента сигнала, отраженного от сферы; δ - фаза поляризационного коэффициента; $K_{\text{сф}}$ - развязка по поляризации сигнала, отраженного от сферы.

Реальный ПИБ РЛС с разнесенным приемом является эллиптическим и неортогональным, характеризуется для передающей и приемной частей РЛС углами поворота эллипсов поляризации и углами эллиптичности [2]. Эти углы могут быть определены в соответствии с выражением (1). Из этих выражений следует, что необходимо провести ортогонально-линейное разложение излучаемого и принимаемого сигнала, и измерить амплитуды основной и кроссовой составляющих, а также разность фаз между ними. Это может быть осуществлено, если установить в дальней зоне передающей антенны РЛС с разнесенным приемом крест-вибратор, расположенный в картинной плоскости передающей антенны на оси, перпендикулярной ее раскрытию. В этом случае излучаемый сигнал одной, а затем второй поляризации РЛС принимается одновременно обоими вибраторами и в приемной аппаратуре, подключенной к вибраторам. Здесь же измеряется амплитуда основной и кроссовой составляющих и разность фаз между ними, а затем по выражениям (1) определяются углы наклона и эллиптичности эллипсов поляризации излучаемых сигналов.

Аналогичное ортогонально - линейное разложение осуществляется в вынесенном пункте. В этом случае вибраторы поочередно излучают сигналы ортогональных поляризаций. Углы наклона и эллиптичности эллипсов поляризации вычисляются в приемной аппаратуре РЛС. Однако, для получения характеристик реального ПИБ необходимо обеспечить достаточно высокую точность определения амплитуд и разности фаз сигналов ортогональных составляющих. Известно, что если задана функция многих переменных $f(\mathbf{a}_i)$, то может быть определена предельная абсолютная погрешность данной функции Δf при известных предельных абсолютных погрешностях входящих в нее элементов $\Delta \mathbf{a}_i$ в виде

$$\Delta f = \sum_{i=1}^n \Delta \mathbf{a}_i \left| f'_{xi}(\mathbf{a}_1 \dots \mathbf{a}_k) \right|, \quad (2)$$

где f'_{xi} - производная от данной функции по всем переменным.

Используя формулу (2) применительно к (1), получим выражение для оценки предельной абсолютной погрешности определения угла поворота эллипса поляризации, согласно методики изложенной в [4], в виде

$$\Delta \theta = 0,5 \left| 1 + \left(\frac{2p \cdot \cos \delta}{1 - p^2} \right)^2 \right|^{-1} \cdot \left[2 \left| \frac{1}{1 - p^2} \right| \cdot (\cos \delta |\Delta p + |p| \cdot |\sin \delta| \Delta \delta) + 4 |p^2 \cdot \cos \delta| \cdot \Delta p \right]. \quad (3)$$

Воспользовавшись формулой (3), можно оценить предельную абсолютную погрешность определения угла наклона эллипса поляризации в зависимости от величины модуля и аргумента поляризационного коэффициента при ортогонально-линейном разложении сигнала, а также от ошибок определения этих величин.

В качестве примера эти данные для некоторых значений величин развязок по поляризации в РЛС с разнесенным приемом при $\delta=45^\circ$, $\Delta\delta=0,1$ рад. и $\Delta\rho=0,01$ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения величин развязок по поляризации

K , дБ	15	20	25
θ , град.	10,2	5,7	3,6
P	0,26	0,18	0,15
$\Delta\theta$, град.	1,4	1,1	0,9

Из табл. 2 следует, что предельная абсолютная погрешность определения угла наклона эллипса поляризации значительно меньше определяемой величины данного угла. Кроме того, при принятии специальных мер по уменьшению угла эллиптичности, как следует из выражения (1), угол наклона эллипса поляризации определяется выражением

$$\operatorname{tg}\theta = P.$$

Следовательно, предельная абсолютная погрешность определения угла наклона эллипса будет еще меньше, чем величины, приведенные в табл. 2. Предельная абсолютная погрешность определения угла эллиптичности имеет примерно такие же значения. Таким образом, использование для калибровки крест - вибраторов на прием и излучение позволяет определять характеристики реального ПИБ РЛС с разнесенным приемом с высокой точностью и использовать их в дальнейшем для расчета элементов ПМР цели в идеальном ортогональном линейном ПИБ данной РЛС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кравченко А.И., Николаенко С.В., Попов В.М., Казаков А.Е. Оценка влияния искажений ПИБ на точность измерения амплитуды и фазы отраженного от цели сигнала // Сб. научн. тр. ХВУ. – Харьков : ХВУ. – 1995. – Вып 4. – С. 22 - 30.
2. Казаков Е.Л. Радиолокационное распознавание космических объектов по поляризационным признакам. – Одесса : Одесский институт управления и менеджмента, 1999. – 23 с.
3. Позняк С.М., Мелитицкий В.А. Введение в статистическую теорию поляризации радиоволн. – М.: Сов. радио, 1974. – 479 с.
4. Бронштейн И.Н., Семендеев И.А. Справочник по математике. – М.: Наука, 1986. – 608 с.

Поступила в редколлегию 18.06.2001