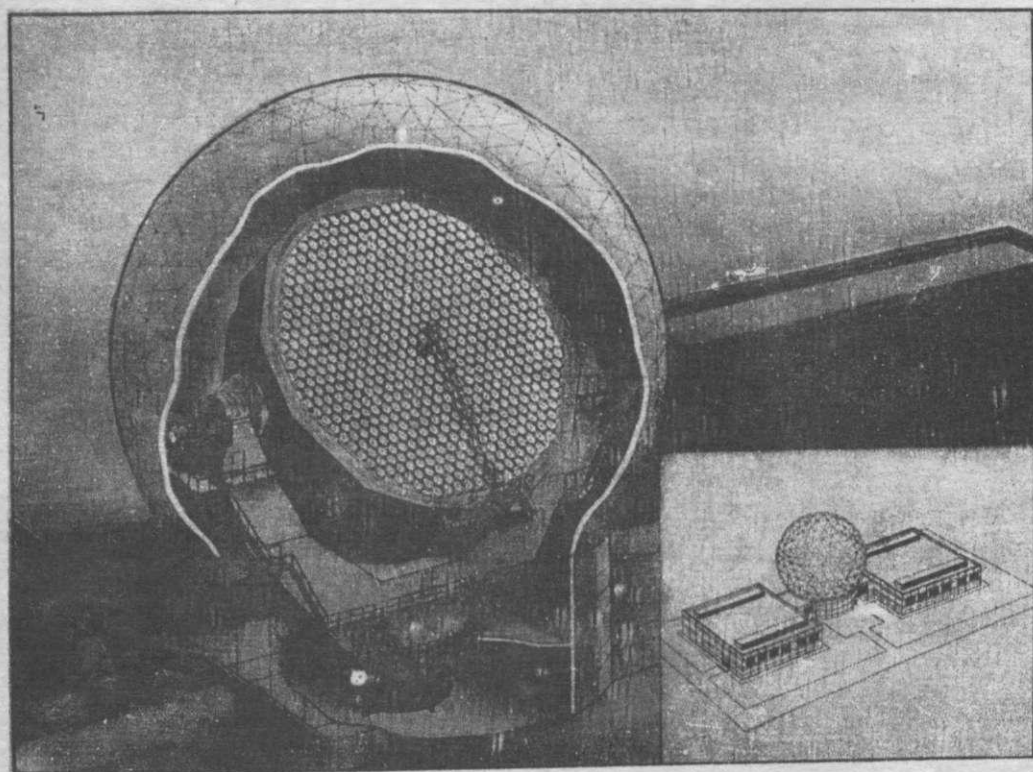


XXVII Научно-техническая
конференция

ТЕОРИЯ И ТЕХНИКА АНТЕНН

МОСКВА, 23-25 АВГУСТА 1994 Г.



АО "РАДИОФИЗИКА"

МОСКВА, 1994

ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УГЛОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФАР ВЫСОКОТОЧНЫХ МНОГОКАНАЛЬНЫХ РЛС

Е.Б. ВОЛОЧКОВ, Н.Ю. ЕГОРОВА, А.А. ТОЛКАЧЕВ, С.А. ТОПЧИЕВ, В.Е. ФАРБЕР
АООТ "Радиофизика", Москва, Россия

Планирование работы многоканальных РЛС с подвижной ФАР состоит в прогнозировании положения выбранного для обслуживания радиолокационного объекта (РО) на очередной момент излучения зондирующего импульса, выставке луча в спрогнозированное угловое направление, стробирование полученных радиолокационных отметок, формирование измерений координат и оценка параметров движения сопровождаемых РО. В современных РЛС эти процессы реализуются на быстродействующих ЭВМ.

Для того, чтобы направить луч в заданное угловое направление необходимо знать положение ФАР на момент излучения зондирующего сигнала. Поскольку моменты излучения сигнала, вообще говоря, не совпадают с моментом измерения углового положения ФАР и в силу неизбежных задержек в системе обработки РЛС, требуется прогнозирование положения ФАР по результатам предыдущих измерений ее положения, включающих в себя специфическую информацию о положении антенны и шум, связанный, главным образом, с дискретностью углового датчика.

Нетрудно заметить, что для обеспечения устойчивого сопровождения точность прогнозирования углового положения РО должна быть соизмерима с шириной диаграммы направленности РЛС. Это, в свою очередь накладывает достаточно жесткие условия на точность прогнозирования положения ФАР на заданные моменты излучения и приема эхо-сигналов.

Ситуация усложняется тем, что в движении ФАР обычно присутствуют гармонические составляющие, связанные с собственными частотами привода. Кроме того, используемые для оценки положения ФАР преобразователи угол-код обычно являются дискретными. Поэтому на входе фильтра оценки параметров движения присутствуют составляющие типа единичных скачков, что приводит к появлению периодических составляющих на выходе. К аналогичным результатам может приводить дискретность целеуказаний приво-ду ФАР, которые приводят к возникновению у него вынужденных колебаний.

Таким образом траекторию движения опорно-поворотного уст-

ройства (ОПУ) ФАР целесообразно описывать суперпозицией полиномиальных и гармонических составляющих. Для модели движения ОПУ ФАР координатные замеры, приходящие с угловых датчиков, могут быть описаны следующим образом:

$$\alpha^m(t_i) = \left[\sum_{j=0}^N A_j t_i^j + \sum_{k=0}^M B_k \sin(f_k t_i + \varphi_i) \right] \Delta\phi, \quad (1)$$

здесь $\alpha^m(t_i)$ — замер датчика по одной из угловых координат в i -ый момент времени, A_j, B_k — коэффициенты разложения траектории ОПУ по, соответственно полиномиальным и периодическим составляющим, f_k — k -ая гармоника, $\Delta\phi$ — младший дискрет углового датчика, $[]$ — операция взятия целой части.

Использование такой модели координатных замеров ОПУ позволяет сформулировать простую схему оценивания координат ОПУ. На первом этапе производится сглаживание конечной выборки замеров $\{\alpha(t_i)\}$ по методу наименьших квадратов полиномом, степень которого соответствует степени полинома целеуказаний. Полученная оценка $\alpha^{\Pi}(t_i)$ соответствует первому слагаемому в (1), при этом невязка $\alpha(t_i) - \alpha^{\Pi}(t_i)$ соответствует гармонической составляющей $\alpha^{\Gamma}(t_i)$ плюс ошибки дискрета оцифровки. На рис.1 (соединенные крестики) представлена выборка $\{\alpha^{\Gamma}(t_i)\}$ невязок замеров угла места ОПУ подвижной ФАР, зафиксированных во время проведения экспериментальных работ.

На втором этапе определяется спектральная структура $\alpha^{\Gamma}(t_i)$. При условии равномерности поступления замеров с датчиков ОПУ, спектр $F_{\alpha^{\Gamma}}(f)$ выборки $\alpha^{\Gamma}(t_i)$ может быть вычислен с использованием процедуры БПФ. БПФ спектр $F_{\epsilon^{\Gamma}}(n_f)$ приведен на рис.2. Мощный спектральный максимум на частоте 1 Гц. (третья гармоника) соответствует процессу отработки ОПУ целеуказаний, поступающих с интервалом 1 секунда. Более полно спектральная структура замеров ОПУ может быть исследована на основе современных нелинейных методов спектрального анализа. На рис.3 приведена оценка по методу Кейпона [1] частотно-временного спектра $F_{\epsilon^{\Gamma}}(f, t)$ невязок выборки угловых замеров ОПУ. Использование метода Кейпона в данном случае позволило выделить со сверхразрешением спектральные линии процесса для сравнительно короткой (временной размер окна 10с.) выборки данных.

На третьем этапе производится сглаживание координат реф-

лктора $\{\alpha^{\Gamma}(t_i)\}$ путем обратного преобразования Фурье обрезанного спектра $F_{\alpha^{\Gamma}}(f)$. Частота среза $f_{\text{ср}}$ может быть определена либо на основе спектрального анализа, либо опытным путем. На рис.1 (сплошная линия) приведены оценки координат $\{\bar{\varepsilon}^{\Gamma}(t_i)\}$, полученные при обрезании спектра $F_{\varepsilon^{\Gamma}}(n_f)$ начиная с 15 гармоники. Гистограмма отклонений единичных замеров $\varepsilon^{\Gamma}(t_i)$ ОПУ от оценок $\bar{\varepsilon}^{\Gamma}(t_i)$ приближается к равномерному закону распределения, характерному для дискретной оцифровки угловых датчиков ОПУ, что позволяет сделать вывод о том, что оценка $\bar{\varepsilon}^{\Gamma}(t_i)$ "выбирает" практически все ошибки при восстановлении траектории движения ОПУ, за исключением ошибок квантования.

Таким образом, изложенная методика, основанная на предложенном приближении модели движения подвижных ФАР (1), позволяет с высокой точностью оценивать координаты ОПУ. Разработанные на ее основе алгоритмы прогнозирования углового положения подвижных ФАР удобны для реализации на специализированных вычислительных средствах современных РЛС. Ее реализация в реальном времени на основе известных рекурсивных процедур фильтрации [2] позволяет существенно повысить точностные характеристики существующих, а также проектируемых высокоточных многоканальных РЛС с подвижными ФАР.

Литература:

1. Сверхбольшие интегральные схемы и современная обработка сигналов: Пер. с англ./Под ред. С.Гуна, Х.Уайтхауса, Т.Кайлата.- М.: Радио и связь, 1989.
2. Марпл.-мл. С.Л. Цифровой анализ и его приложения: Пер. с англ. - М.: Мир, 1990.

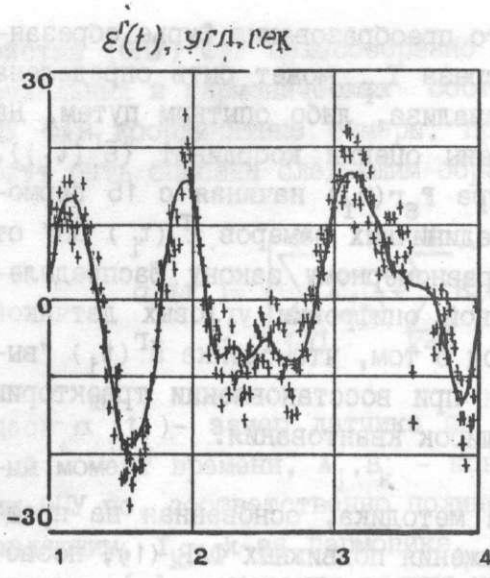


Рис. 1

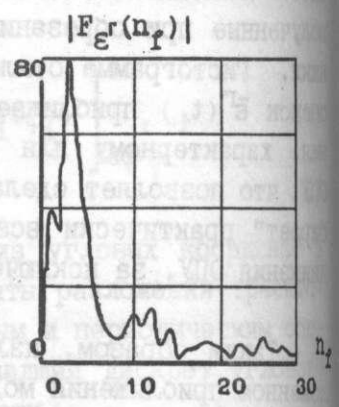


Рис. 2

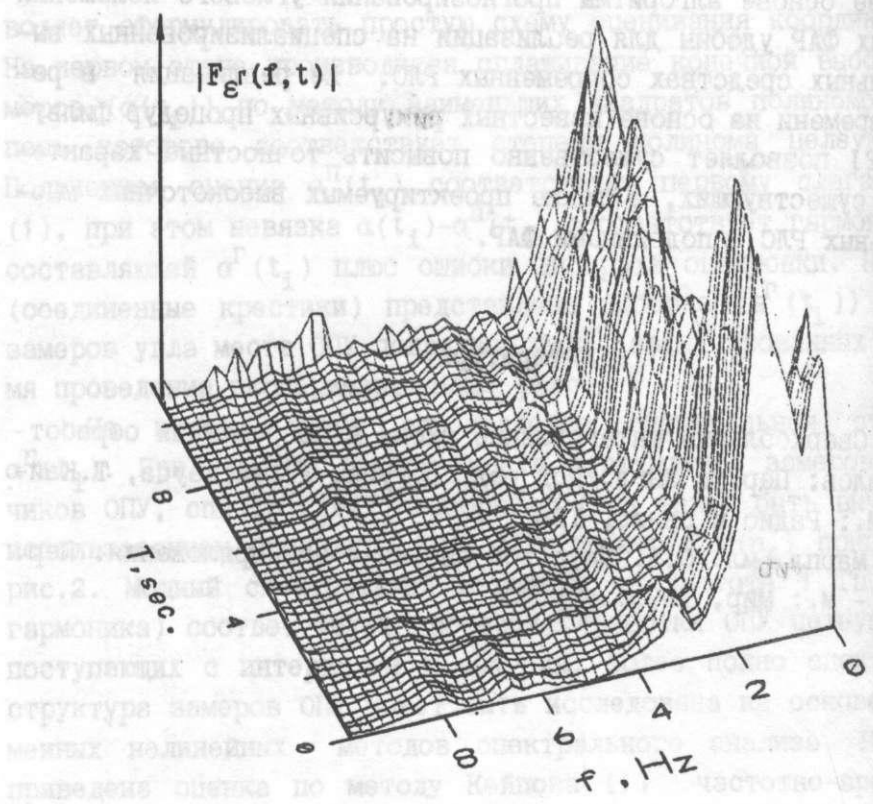


Рис. 3