

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СПЕКТРА АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Калин А.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Калютчик В.С. – к.т.н.

В статье предлагается имитационная модель методов оценки пространственного спектра широкополосных акустических сигналов в цифровых антенных решетках, основанная на модификации известных методов оценки пространственного спектра узкополосных радиосигналов: метод Кейпона (Capon), метод теплового шума (Thermal noise) и метод многосигнальной классификации (MUSIC), позволяющих преодолеть предел Рэлея и увеличить разрешающую способность антенной решетки. Приводятся описания функциональной схемы и имитационной модели, разработанной в программе LabVIEW.

Современные методы обработки сигналов в антенных решетках объединяют в себя два подхода: обработка во временной области (метод задержек и суммирования) и обработка в частотной области (метод Кейпона, метод теплового шума, метод многосигнальной классификации и др.) [1–3]. Последние представляют особый интерес, поскольку позволяют значительно увеличить разрешающую способность решетки, не меняя ее конфигурации, а только лишь за счет специальной математической обработки. Методы обработки в частотной области базируются на условии узкополосности спектров сигналов. Такое условие, как правило, выполнимо для радиосигнала, если ширина его спектра значительно меньше несущей частоты. Однако спектр акустического сигнала является широкополосным и занимает полосу в десятки килогерц. Модификация методов оценки пространственного спектра связана с широкополосностью частотного спектра акустического сигнала. Это означает, что вектор сканирования антенной решетки и корреляционная матрица сигналов должны быть вычислены для каждой частотной составляющей в отдельности. Разрешающая пространственная функция является результатом взвешенного суммирования отдельных функций, соответствующих частотным составляющим, превышающим определенный порог.

На рисунке 1 приведена обобщенная функциональная схема модифицированных методов оценки пространственного спектра акустического сигнала.

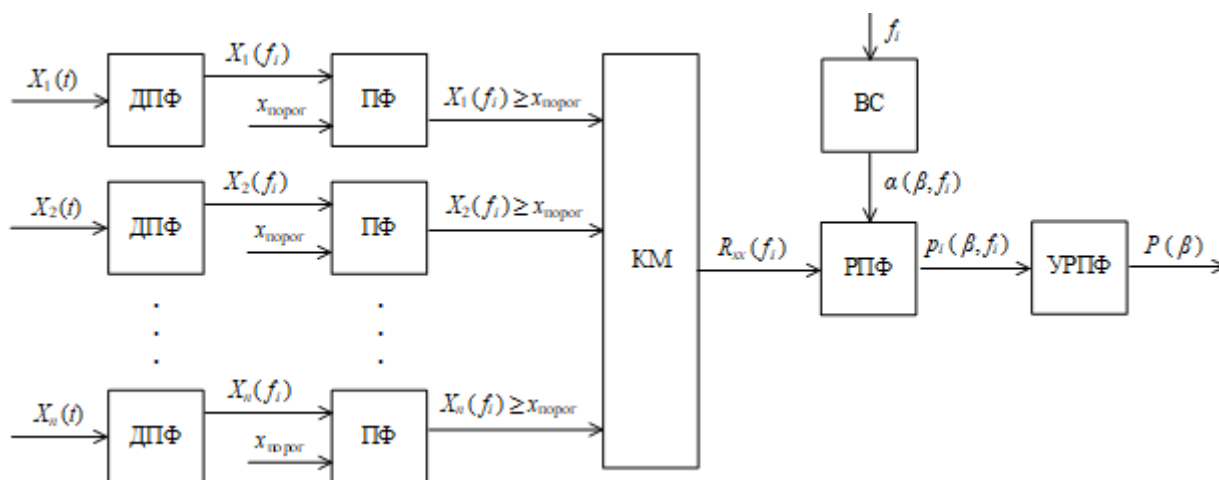


Рисунок 1 – Обобщенная функциональная схема модифицированных методов

Временные отсчеты входных сигналов $X_1(t)$, $X_2(t)$, ..., $X_n(t)$ преобразуются в частотную область $X_1(f)$, $X_2(f)$, ..., $X_n(f)$ при помощи блока, реализующего дискретное преобразование Фурье (ДПФ). Полученные частотные компоненты поступают на вход порогового фильтра (ПФ), где происходит выделение частотных составляющих превышающих заданное пороговое значение $X_{\text{порог}}$. С выходов ПФ каждого канала антенной решетки сигналы поступают на вход вычислителя корреляционной матрицы (КМ) $R_{xx}(f_i)$, которая определяется для каждой выделенной частотной компоненты. Далее для каждой выделенной частоты строится вектор сканирования (ВС) $\alpha(\beta, f_i)$. Вычисленные КМ и ВС поступают на входы блока вычисления разрешающей пространственной функции (РПФ), которая также строится для каждой выделенной частотной компоненты, используя выражения известных методов: Capon, Thermal noise, MUSIC. Полученные функции $p_i(\beta, f_i)$ поступают на входы блока усреднения разрешающих пространственных функций (УРПФ), на выходе которого формируется результирующая разрешающая пространственная функция $P(\beta)$.

На основании предложенной функциональной схемы была разработана имитационная модель в программе LabVIEW.

На рисунке 2 приведена блок-диаграмма фрагмента кода имитационной модели в программе LabVIEW.

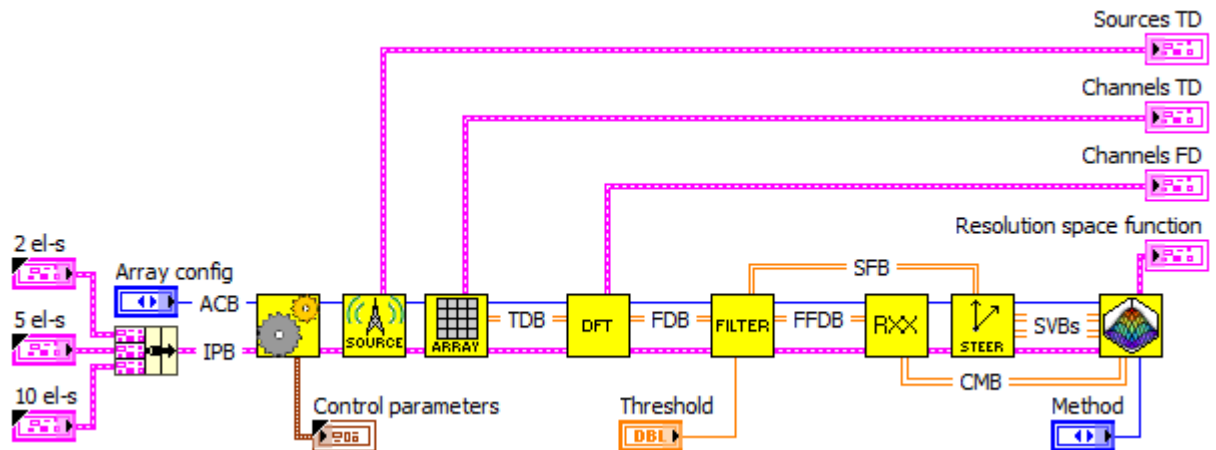


Рисунок 2 – Блок-диаграмма фрагмента кода имитационной модели в LabVIEW

Блок-диаграмма состоит из панелей ввода и вывода, подприборов (так принято называть функции в LabVIEW), соединительных шин и проводников.

Панели ввода:

- Array config – выбор конфигурации линейной решетки (2, 5 или 10 элементов);
- 2 el-s – входные параметры линейной решетки, состоящей из двух элементов;
- 5 el-s – входные параметры линейной решетки, состоящей из пяти элементов;
- 10 el-s – входные параметры линейной решетки, состоящей из десяти элементов;
- Threshold – пороговое значение частотного фильтра;
- Method – метод вычисления разрешающей функции (Capon, Thermal noise или MUSIC).

Панели вывода:

- Control parameters – контрольные параметры;
- Sources TD – графики моделей источников сигналов во временной области;
- Channels TD – графики сигналов в каналах решетки во временной области;
- Channels FD – графики сигналов в каналах решетки в частотной области;
- Resolution space function – график разрешающей пространственной функции.

Шины:

- ACB (Array Configuration Bus) – шина конфигурации решетки;
- IPB (Input Parameters Bus) – шина входных параметров;
- TDB (Time Domain Bus) – шина сигналов во временной области;
- FDB (Frequency Domain Bus) – шина сигналов в частотной области;
- FFDB (Filtered Frequency Domain Bus) – шина отфильтрованных сигналов в частотной области;
- SFB (Selected Frequencies Bus) – шина отобранных частот;
- CMB (Correlation Matrix Bus) – шина корреляционных матриц;
- SVBs (Steering Vector Buses) – шины векторов сканирования.

Предложенные модифицированные методы оценки пространственного спектра сигнала расширяют область применения известных частотных методов (Capon, Thermal noise и MUSIC) построения разрешающей пространственной функции и позволяют обрабатывать не только узкополосные радиосигналы, но и широкополосные акустические сигналы.

Разработанная имитационная модель позволяет определять эффективность модифицированных методов оценки пространственного спектра акустического сигнала при различных условиях функционирования, что позволяет ускорить проектирование акустических систем, предназначенных для определения угловых координат источников звука.

Список использованных источников:

1. *Acoustic Array Systems. Theory, implementation and application* / R. Mingsian // National Tsing Hua University, 2013. – 527 p.
2. Нечаев, Ю.Б. Алгоритмы диаграммообразования адаптивных антенных решеток в условиях многолучевого распространения радиоволн / Ю.Б. Нечаев. – Воронеж.: Научные ведомости вып. 21/1, 2012. – С.193-202.
3. Москалец, Н.В. Сравнительный анализ методов оценки направления прихода сигналов / Н.В. Москалец. – Харьков: Радиотехника вып. 188, 2017. – С.126-135.