

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ СИСТЕМ РАДИОАКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

Карташов В.М., Бабкин С.И., Пащенко С.В., Куля Д.Н.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

61166, Харьков, пр. Ленина, 14; каф. РЭС, тел. (057) 70-21-587. E-mail: [\[ture.kharkov.ua\]\(http://ture.kharkov.ua\)](mailto:res@k-</p></div><div data-bbox=)

We consider the optimal scheme to achieve the most plausible estimates of the velocity the object – an acoustic wave packet, which is more in line with the scheme of estimation of the energy of the signal parameter.

Введение. Большинство известных систем радиоакустического зондирования (РАЗ) атмосферы предназначены для измерения температуры атмосферы, которая функционально связана со скоростью звука в среде [1]. Основные отличия алгоритмов обработки сигналов систем РАЗ от алгоритмов, используемых в обычных доплеровских радиолокационных станциях, определяются особенностями рассеяния радиосигнала на акустической волновой посылке. Во-первых, рассеяние радиоволны на звуке является частотно-зависимым: уровень рассеянного радиосигнала зависит от значения параметра расстройки условия Брэгга $q = 2k_e - k_s$, где k_e – волновое число электромагнитного колебания, k_s – волновое число акустического колебания, а во-вторых, при рассеянии на звуке существенно изменяется структура излучаемого радиосигнала, который приобретает в процессе рассеяния дополнительную амплитудную и угловую модуляцию [1].

На практике процесс выполнения измерений при использовании простых звуковых импульсов осуществляют наиболее часто, применяя адаптацию – подстройку частоты акустического или электромагнитного сигналов под условие Брэгга, т.е. добиваются выполнения условия $q = 0$. Это существенно усложняет систему и процесс зондирования, значительно снижает оперативность зондирования, поскольку адаптация осуществляется, как правило, в ручном режиме.

Методы обработки сигналов. Рассмотрим используемые в настоящее время в системах РАЗ подобные методы обработки сигналов, которые представляют собой эвристические поисковые методы оценивания энергетического параметра сигнала, содержащего информацию о скорости распространения в атмосфере звуковой посылки.

И один и второй применяемые на практике алгоритмы направлены на поиск точки $q = 0$ на оси значений параметра расстройки условия Брэгга q . При этом используются следующие подходы: точке $q = 0$ соответствует максимум амплитуды отраженного сигнала; в точке $q = 0$ доплеровский сдвиг частоты рассеянного радиосигнала совпадает с частотой излучаемой звуковой посылки. С нахождением точки $q = 0$ однозначно определяется доплеровская частота рассеянного сигнала и возможность нахождения скорости звука и температуры среды.

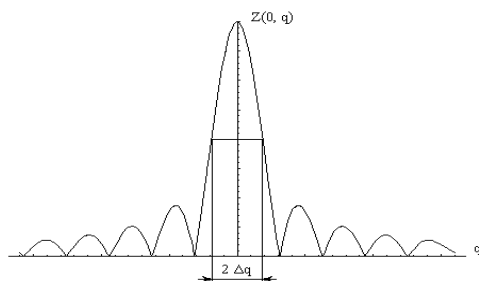


Рис. 1. Поиск глобального максимума функции рассеяния при некогерентном последовательном методе оценивания

рассеянного сигнала, а фазовая структура при этом игнорируется, метод можно назвать методом некогерентного последовательного оценивания информационного параметра.

Оба используемые алгоритмы обработки сигналов включают в себя изменение частоты звукового излучения (наиболее часто вручную): при изменении значения частоты звукового излучения и неизменном значении частоты радиосигнала изменяются значения параметра $q = 2k_e - k_s$. В первом алгоритме ищется глобальный максимум выходной функции – максимум амплитуды рассеянного сигнала или максимум модуля функции рассеяния, (рис. 1). Поскольку во внимание при анализе принимается только огибающая рассеяния,

Во втором методе оценивания также последовательно изменяется частота звукового излучения, т.е. параметр расстройки условия Брэгга φ , а точечная оценка ищется не по максимуму амплитуды выходного сигнала, а путем измерения частоты рассеянного сигнала, при этом добиваются совпадения доплеровской частоты рассеянного сигнала с несущей частотой звуковой посылки. Этот метод, вообще говоря, недостаточно корректен, поскольку при наличии расстройки по φ формирующийся рассеянный сигнал по структуре не является монохроматическим. Такой метод можно назвать методом когерентного последовательного оценивания информативного параметра.

И первый и второй рассмотренные методы – это методы последовательного оценивания информационного параметра сигнала с использованием дискриминатора (если перестройка частоты осуществляется вручную, то функции дискриминатора частично или полностью выполняет оператор): в первом случае амплитудного, во втором – частотного. Применение частотного дискриминатора здесь, как уже указывалось, не совсем корректно, по сути это должен быть структурный дискриминатор, характеристики которого нуждаются в дополнительном исследовании и уточнении.

И в одном и в другом алгоритмах на оси φ ищут точку $\varphi = 0$, в которой можно проводить доплеровские измерения, поскольку получаемая частота в этом случае является чисто доплеровской, а следовательно, при этом можно использовать привычные технику измерений и методику интерпретации результатов измерений для нахождения скорости звука и температуры среды.

В ряде систем зондирования скорость звука определяется по доплеровскому сдвигу частоты электромагнитных колебаний, рассеянных на звуковой посылке, без использования подстройки частот зондирующих сигналов. Устройства обработки таких станций радиоакустического зондирования атмосферы, независимо от видов используемых зондирующих акустических и электромагнитных сигналов, построены как измерители доплеровской частоты, а теоретической моделью применяемых в системах РАЗ устройств обработки являются известная многоканальная корреляционная или фильтровая схема оценки информативного параметра. Однако результаты измерений, получаемые с использованием таких алгоритмов, сопровождаются значительными по величине систематическими погрешностями: получаемая температура атмосферы отличается от истинной на величину 1-2 градуса [1].

Чтобы выяснить причину возникновения получаемых погрешностей запишем априорное распределение информативного параметра x принимаемого радиосигнала [2]

$$P(x | y) = c'' P(x) \exp \left[- \frac{1}{N_0} \int_0^T y(t) u_c(t, x) dt \right] \exp \left[- \frac{Q_x}{N_0} \right], \quad (1)$$

где c'' – константа, определяющая масштаб по оси ординат, $Q_x = \int_0^T u_c^2(t, x) dt$ – энергия сигнала при данном значении сообщения x . Смесь полезного сигнала и помехи на входе устройства обработки и воспроизведения информативного параметра x здесь представлена в виде

$$y(t) = u_c(t, x) + u_{ш}(t),$$

где $u_c(t, x)$ – сигнал произвольной формы, известный в месте приема точно, за исключением неизвестного информативного параметра x с априорным распределением $P(x)$; помеха $u_{ш}(t)$ представляет собой аддитивный независимый стационарный нормальный белый шум с известной спектральной плотностью N_0 .

Для широкого класса локационных задач (в том числе задач измерения скорости объектов по доплеровской частоте) и используемых сигналов величина Q_x полагается не зависящей от информативного параметра x , в процессе формирования искомой оценки она не учитывается и включается в константу c'' . Аналогичные процедуры обработки реализуются в настоящее время и при оценивании скорости звука в системах РАЗ по доплеровской частоте.

Однако в действительности в системах РАЗ атмосферы указанное условие не выполняется, поскольку рассеяние электромагнитного сигнала на акустической волновой посылке является частотно-зависимым. В качестве информативного параметра сигнала в данной задаче также следует использовать величину Q , которая однозначно функционально связана со скоростью распространения звука в атмосфере, по значениям которой и определяются температура и скорость ветра в среде. Таким образом, энергия принимаемого радиосигнала зависит от скорости звуковой посылки и от значения информативного параметра Q , т.е. имеет место функциональная зависимость – $Q_x(q)$.

Для того, чтобы в системах РАЗ формировать оценки максимального правдоподобия информативного параметра, в (1) необходимо принимать во внимание не только первый член, содержащий корреляционный интеграл, как это делается обычно, но и член, содержащий энергию принимаемого сигнала $\exp(-Q_x/N_0)$.

Вследствие этого оптимальная многоканальная схема измерений, построенная на основе корреляторов или согласованных фильтров, при формировании оценки максимального правдоподобия информационного параметра сигнала, содержащего информацию о скорости перемещения объекта, должна быть дополнена схемой коррекции амплитуд сигналов в каналах.

Другая причина появления систематической погрешности в результатах измерений – отличие формы принимаемого радиосигнала, рассеянного на звуковой посылке, от ожидаемого (или излученного). Вид полезного сигнала u_c при заданных формах зондирующих акустических и электромагнитных колебаний, который должен быть использован в качестве опорного колебания в многоканальной корреляционной схеме, построенной в соответствии с (1), может быть определен в соответствии с функцией рассеяния [3].

Заключение. Рассмотренная оптимальная схема формирования максимально правдоподобных оценок скорости перемещения объекта – акустического волнового пакета в большей степени соответствует схеме оценивания энергетического параметра сигнала. Такое положение достаточно необычно, поскольку в радиолокации измерение скорости движения объекта осуществляется посредством оценивания неэнергетического параметра сигнала – доплеровской частоты.

Литература:

1. Каллистратова М.А., Кон А.И. Радиоакустическое зондирование атмосферы. – М.: Наука, 1985. – 200 с.
2. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.
3. Карташов В.М. Модели и методы обработки сигналов систем радиоакустического и акустического зондирования атмосферы. – Харьков: ХНУРЭ, 2011. – 234 с.