

# THE PROCESSING FEATURES OF MEASUREMENT RESULTS OF RADIO ACOUSTIC SOUNDING SYSTEMS USING THE KALMAN FILTER

Kartashov V.M., Kulia D.M., Kushnir M.V.  
Kharkov National University of Radio Electronics  
14, Lenina Sq., Kharkov, 61166, Ukraine  
Ph.: (81038057) 7021013, e-mail: res@kture.kharkov.ua

*Abstract* — The optimal linear filtering application in the atmospheric radio acoustic sounding (RAS) systems which are designed to taking the profiles of air temperature is discussed in the report. The optimal linear filter application in RAS systems will reduce a number of repeated soundings which are necessary to achieve the required estimate accuracy. The optimal linear filter application will improve the delivery of vertical profiles of required atmospheric parameters.

## ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ СИСТЕМ РАДИОАКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЛЬТРА КАЛМАНА

Карташов В. М., Куля Д. Н., Кушнир М. В.  
Харьковский национальный университет радиозлектроники  
пр. Ленина 14, Харьков, 61166, Украина  
тел.: (81038057) 7021013, e-mail: res@kture.kharkov.ua

*Аннотация* — В докладе рассматривается применение оптимальной линейной фильтрации в системах радиоакустического зондирования (РАЗ) атмосферы, которые предназначены для получения профилей температуры воздуха. Применение оптимального линейного фильтра в системах РАЗ позволит уменьшить количество повторных зондирований для достижения необходимой точности получаемых оценок и повысить оперативность получения вертикальных профилей искомых атмосферных параметров.

### I. Введение

Большинство известных систем РАЗ атмосферы предназначены для измерения температуры воздуха, которая функционально связана со скоростью звука в среде. Полезная информация о скорости звука в таких системах содержится в рассеянном на акустической посылке радиосигнале. Рассеяние радиосигнала на акустической волновой посылке имеет некоторые особенности: рассеяние радиоволны на звуке является частотно-зависимым; уровень рассеянного радиосигнала зависит от значения параметра расстройки условия Брэгга; при рассеянии на звуке существенно изменяется структура излучаемого радиосигнала, который приобретает в процессе рассеяния дополнительную амплитудную и угловую модуляцию. В связи с указанными особенностями входных сигналов в системах РАЗ схема первичной обработки представляет собой многоканальное корреляционное устройство с последующей коррекцией выходных значений. В качестве опорных сигналов корреляторов используются сигналы, сформированные с использованием функции рассеяния [1].

Получаемая таким образом в системах РАЗ оценка значения скорости звука характеризуется некоторой случайной погрешностью, которую можно уменьшить путем обработки результатов измерений в соответствии с уравнениями фильтра Калмана.

### II. Основная часть

Суть оптимальной линейной фильтрации результатов измерений в системах РАЗ состоит в процессе последовательного сглаживания оценок скорости звука на текущем шаге измерения с использованием прогнозируемой на текущий шаг оценки, причем закон прогнозирования определяется выбранной моделью изменения оцениваемого параметра. В соот-

ветствии с общей теорией фильтрации, наилучший путь решения задачи последовательного сглаживания состоит в определении апостериорной плотности вероятности фильтруемых параметров, в которой учитывается доопытное распределение фильтруемого параметра [2]

$$p(c_{s(k+1)} | Y_{(1,k+1)}) = cp(c_{s(k+1)} | Y_{(1,k)}) p(Y_{(k+1)} | c_{s(k+1)}),$$

где  $c_{s(k+1)}$  — значение вектора состояния на  $k+1$ -м шаге;  $Y_{(1,k)}$  — набор радиосигналов, отраженных от акустической посылки, полученный за  $k$  шагов текущего оценивания вектора состояния  $c_s$ ;  $Y_{(k+1)}$  — радиосигнал, отраженный от акустической посылки, полученный на  $k+1$ -ом шаге текущего оценивания вектора  $c_s$ .

Задаваясь гауссовскими законами распределения для  $p(c_{s(k+1)} | Y_{(1,k)})$  и  $p(Y_{(k+1)} | c_{s(k+1)})$  и выполнив логарифмирование, получим выражение для результирующей оценки вектора состояния  $\hat{c}_{s(k+1)}$  в случае прямого измерения (1) [2], т.е. когда параметры, входящие в вектор состояния, наблюдаются непосредственно

$$\hat{c}_{s(k+1)} = B_k \hat{c}_{s(k)} + C_{k+1}^{-1} C_{y(k+1)} (\hat{c}_{y(k+1)} - B_k \hat{c}_{s(k)}),$$

$$C_{k+1} = C_{0(k+1)} + C_{y(k+1)} = (B_k C_k^{-1} B_k^T + Q_k)^{-1} + C_{y(k+1)}, \quad (1)$$

где  $\hat{c}_{s(k+1)}$  — результирующая оценка вектора состояния;  $B_k$  — матрица перехода, характеризующая закон, в соответствии с которым определяется прогнозируемая оценка;  $C_{k+1} = C_{0(k+1)} + C_{y(k+1)}$  — результирующая матрица точности, состоящая из суммы прогнозируемой матрицы точности и матрицы точности теку-

щего измерения, которые определяются исходя из законов распределения  $p(c_{s(k+1)}|y_{(1,k)})$  и  $p(y_{(k+1)}|c_{s(k+1)})$ ;  $Q_k$  — корреляционная матрица маневра цели;  $\hat{c}_{sy(k+1)}$  — текущая оценка вектора состояния.

Структурная схема дискретной следящей системы, реализующей фильтрацию оценок в соответствии с формулами (1) показана на рисунке 1.

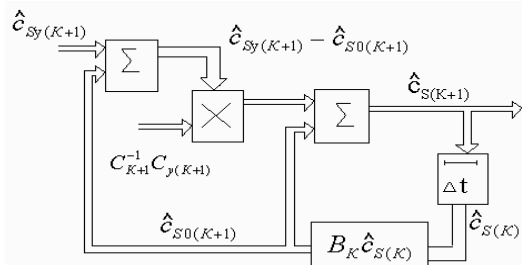


Рис. 1. Схема линейной фильтрации оценок вектора состояния  $\hat{c}_S$  при прямом измерении.

Fig. 1. Linear filtering scheme of the state vector estimates  $\hat{c}_S$  in case of direct measurements

Использование уравнений фильтрации (1) предусматривает выбор модели изменения оцениваемого параметра, в соответствии с которой будет формироваться матрица  $B_k$ .

Особенностью использования уравнений фильтрации (1) в системах РАЗ является необходимость выбора различных моделей изменения параметра в зависимости от состояния атмосферы. Выбор модели должен определяться допытными данными о состоянии атмосферы или выполняться по результатам пробного зондирования.

При различных моделях изменения параметра характеристики линейного фильтра, построенного в соответствии с уравнениями (1), будут различными. Следовательно, линейный фильтр системы РАЗ должен характеризоваться возможностью динамического изменения параметров в зависимости от гипотезы о состоянии атмосферы. Динамика изменения в процессе работы может быть построена так, чтобы по результатам сравнения профиля, полученного без линейной фильтрации, и профиля, наблюдаемого на выходе алгоритма фильтрации, выработывалась разница дисперсий профилей. С учетом полученного значения этой разницы рекомендуется принимать решения об изменении характеристик фильтра.

На рисунках 2 и 3 показаны результаты фильтрации профиля скорости звука, полученного с дисперсией 2 м/с, в соответствии с уравнениями (1) при использовании стохастических моделей изменения параметра с независимыми первыми приращениями и с независимыми вторыми приращениями [2] соответственно, в предположении, что дисперсия маневра скорости звука составляет 2 м/с.

По рисунку 2 видно, что профиль, полученный после фильтрации, характеризуется меньшей дисперсией, что говорит о сглаживании ошибок измерений скорости звука. Профиль, полученный после фильтрации (рис. 3), наоборот стал более изрезанным. Значит, при том состоянии атмосферы, при котором был получен профиль скорости звука, более подходящей моделью для фильтрации оказалась модель с независимыми первыми приращениями.

Если бы состояние атмосферы было другим, например, более стабильным, при котором измене-

ние температуры происходило бы плавно, то более подходящей моделью для фильтрации оказалась бы модель с независимыми вторыми приращениями.

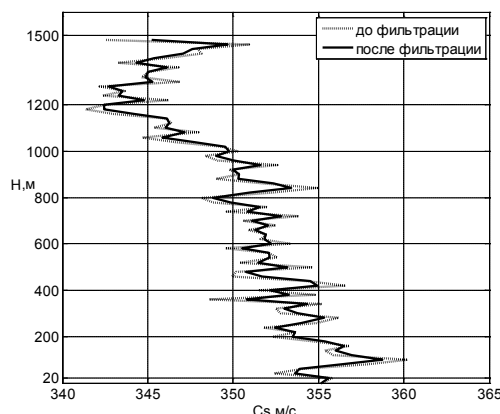


Рис. 2. Профили скорости звука до и после фильтрации при использовании модели с первыми независимыми приращениями.

Fig. 2. Sound velocity profiles before and after filtration using the model with the first independent increments

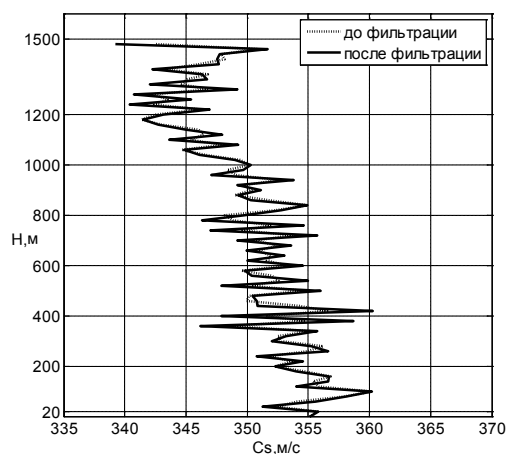


Рис. 3. Профили скорости звука до и после фильтрации при использовании модели со вторыми независимыми приращениями.

Fig. 3. Sound velocity profiles before and after filtration using the model with the second independent increments.

### III. Заключение

1. Применение оптимального линейного фильтра в системах РАЗ позволит уменьшить количество повторных зондирований для достижения необходимой точности получаемых оценок и повысить оперативность получения вертикальных профилей искомых атмосферных параметров.

2. Оптимальный линейный фильтр в системах РАЗ должен характеризоваться возможностью динамического изменения своих характеристик.

### IV. References

- [1] Kartashov V. M., Kulia D. M., Pashhenko S. V. Algorithm avtosoprovzhdeniya izmenenij informacyonnogo parametra signala radioakusticheskikh system [Algorithm of tracking of a parameter of an information signal of radioacoustic systems]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2012, No 4/9 (58), pp. 57-61.
- [2] Shirman Ja.D., Manzhos V.N. *Teoriya i tehnika obrabotki radiolokacionnoj informacii na fone pomeh* [Theory and devices of radiolocation signal estimation with interference]. Moscow, Radio i svjaz', 1981. 416 p.