

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ В ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Канд. физ.-мат. наук **В.Ю. Солдатов**¹, канд. техн. наук **И.И. Потапов**²
(ipotapov37@mail.ru)

¹ Институт радиотехники и электроники РАН им. В.А. Котельникова РАН, Москва.

² Всероссийский институт научной и технической информации, Москва.

CONVERTER OF RADIOMETRIC DATA TO THE HYDROPHYSICAL AND GEOPHYSICAL CHARACTERISTICS

V.Yu. Soldatov, I.I. Potapov

Ключевые слова: мониторинг, критерий, радиометр, алгоритм.

Key words: monitoring, criterion, radiometer, algorithm.

Предлагается схематическое решение обратной задачи радиометрии при дистанционном измерении параметров земной поверхности. Рассмотрена принципиальная схема многоканального решателя, обеспечивающего автоматическую настройку каналов на решаемую задачу.

Schematic solution of the radiometry inverse task for the remote measurement of land surface parameters is proposed. Principal scheme for the multi-channel solver is considered to be used as automatic device with adaptive functions to the solved task.

Согласно изложенным в работах [1-6] алгоритмам многоканального микроволнового мониторинга возможно оперативное измерение многочисленных параметров подсистем окружающей среды, таких как скорость ветра, волнение моря, температура и соленость воды, биомасса растений и др. По этим измерениям осуществляется взаимный контроль точности работы различных элементов системы мониторинга. Решение уравнений корректировки в общем случае требует использования критерия невязки между теоретическими и эмпирическими оценками параметров или корреляционными связями. Обычно для этого применяют критерий среднеквадратического отклонения. Как показано в работе Бородина и др. [1] достоверность и оперативность определения решений системы уравнений, связывающих теоретические и эмпирические оценки, может быть повышена, если в качестве критерия невязки этих решений брать их дисперсионные характеристики.

Пусть собственное излучение моря измеряется одновременно с помощью n радиометров, каждый из которых работает на фиксированной волне λ_j ($j=1, \dots, n$). В результате в момент t_i на выходе каждого радиометра фиксируются величины Z_{ij} ($i=1, \dots, M$), такие что $Z_{ij} = T_j + \xi_{ij}$, где T_j – яркостная температура участка моря на длине волны λ_j , а ξ_{ij} – случайная величина (шум) с нулевым средним и дисперсией σ_j^2 .

Пусть связь между яркостной температурой и m параметрами моря является линейной:

$$A_{j1}x_1 + \dots + A_{jm}x_m = T_j + \xi_j \quad (1)$$

где A_{ij} – коэффициенты, определяемые в режиме мониторинга участка моря или поверхности суши с известными параметрами $\{x_i\}$. Требуется найти оценку x_i^* для значения параметра x_i^0 такую, чтобы, во-первых, средние значения x_i^* совпадали с точным решением системы (1), т.е. $\bar{x}_i^* = x_i^0$ ($i = 1, \dots, m$), и, во-вторых, дисперсия оценки x_i^* была минимальна, т.е. $D[x_i^*] \leq D[\tilde{x}_i]$, где \tilde{x}_i – оценка параметра x_i^0 , полученная любым другим способом.

Наконец, в – третьих, потребуем, чтобы процедура вычисления оценок x_i^* была по возможности простой и позволяла сделать суждения о наилучшем дискретном наборе радиометрических каналов, необходимом для реализации двух предыдущих условий.

Совокупность оценок x_i^* , удовлетворяющих трем указанным условиям, назовем σ - решением системы линейных уравнений с возмущенной правой частью. Умножим i -е решение системы (1) последовательно на величины c_{1i}, \dots, c_{mi} и потребуем, чтобы

$$\sum_{i=1}^n c_{ji} A_{il} = \delta_{jl}, \quad (2)$$

где

$$\delta_{jl} = \begin{cases} 1 & \text{при } j = l \\ 0 & \text{при } j \neq l \end{cases}$$

В результате находим

$$x_1^0 = \sum_{i=1}^n c_{1i} T_i, \quad \tilde{x}_1 = \sum_{i=1}^n c_{1i} T_i + \sum_{i=1}^n c_{1i} \xi_i, \quad D[\tilde{x}_1] = \sum_{i=1}^n c_{1i}^2 \sigma_i^2$$

Для \tilde{x}_i ($i \geq 2$) записываются аналогичные соотношения. Составим вспомогательное выражение:

$$\phi(c_{11}, \dots, c_{1n}) = \sum_{i=1}^n c_{1i}^2 \sigma_i^2 + \mu_1 \left(\sum_{i=1}^n c_{1i} A_{i1} - 1 \right) + \sum_{j=2}^m \mu_j \sum_{i=1}^n c_{1i} A_{ij},$$

где μ_j – неопределенные множители Лагранжа. Приравнявая первые производные функции ϕ к нулю, получим:

$$2c_{1k} \sigma_k^2 + \sum_{j=1}^m \mu_j A_{kj} = 0 \quad (k = 1, \dots, n)$$

Эти равенства в сочетании с условиями (2) образуют систему $(m+n)$ уравнений, решение которых позволяет определить искомые оптимальные величины c_{ij}^* . Получаем, что $D[x_1] = -\mu_1 / 2$, а остальные величины μ_j ($j \geq 2$) удовлетворяют системе $m \times n$ уравнений:

$$\sum_{j=1}^m \mu_j \sum_{i=1}^n A_{ij} A_{i1} \sigma_i^{-2} = -2, \quad \sum_{j=1}^m \mu_j \sum_{i=1}^n A_{ij} A_{i1} \sigma_i^{-2} = 0, \quad (l = 2, \dots, m)$$

Для реального использования изложенного алгоритма в радиометрической системе мониторинга может быть предложено следующее устройство. Разместим между выходами радиометров и соответствующими входами микропроцессора последовательно n – канальный блок коммутации и n блоков вычисления дисперсии. На входах радиометров включим переключатели, которые соединены через блок управления с первой группой выходов микропроцессора, а ко второй группе выходов микропроцессора подключен решающий блок, вторая группа входов которого соединена соответственно с выходами радиометров. При этом каждый из блоков вычисления дисперсии состоит из последовательно соединенных квантователей вычислителя среднего значения, делителя, сумматора и второго делителя, а выход квантователя соединен со вторым входом сумматора. Решающий блок состоит из идентичных каналов, каждый из которых содержит сумматор, к n входам которого подключены n умножителей, одни входы которых образуют первую группу входов решающего блока, а другие – вторую группу входов решающего блока, причем число каналов равно числу измеряемых параметров.

На рис. 1 приведена структурная схема устройства для измерения параметров геофизических и гидрофизических объектов. Схема рис. 2 поясняет структурную схему блока вычисления дисперсии. Решающий блок охарактеризован на рис. 3. Устройство работает следующим образом. При калибровке радиометров 1 сигналы Z_{ij} с их выходов через многоканальный блок 2 коммутации поступают в блоки 3 вычислителя дисперсии. При этом АФТ отключен от радиометров. В блоке 3 вычисления дисперсии осуществляются по алгоритму:

$$\sigma_j^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (Z_{ij} - M_j), \quad M_j = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M Z_{ij}$$

Величины M_j вычисляются в блоке расчета среднего. Сумматор вычисляет $\sum_{i=1}^M (Z_{ij} - M_j)$. Рассчитанные значения σ_j^2 поступают в микропроцессор 4 для вычисления парциальных коэффициентов c_{jl} , с первой группы выходов которого они поступают в решающий блок 5, где используются для решения системы уравнений, а со второй группы выходов – на блок 6 управления, который формирует сигнал, отключающий радиометры 1, для которых парциальные коэффициенты равны или близки к нулю, т.е. автоматически происходит исключение информационных каналов и одновременное сжатие системы решаемых уравнений. Этот шаг позволяет сократить не только объем вычислений, но и повысить точность определения параметров зондируемых объектов окружающей среды.

После определения дисперсий блок коммутации 2 блокирует поступление данных от неинформативных каналов. Данные от информативных каналов посту-

пают в решающий блок 5. Выходной сигнал умножителя соответствует значению одного из оцениваемых параметров.

Рассмотренное устройство базируется на подходе к решению обратной задачи микроволнового мониторинга, основанного на предположении о линейной функциональной корреляции между радиояркими контрастами и характеристиками объекта мониторинга.

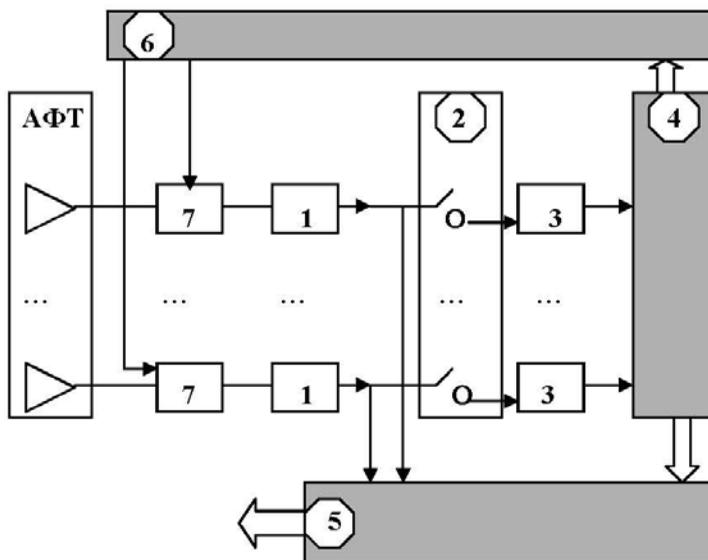


Рис. 1. Структурная схема устройства для измерения геофизических и гидрофизических параметров в режиме микроволнового мониторинга. Обозначения: 1-радиометры, 2 – блок коммутации, 3 – блок вычисления дисперсии, 4 – микропроцессор, 5 – решающий блок, 6 – блок управления, 7 – переключатели, АФФ – антенно-фидерный тракт.

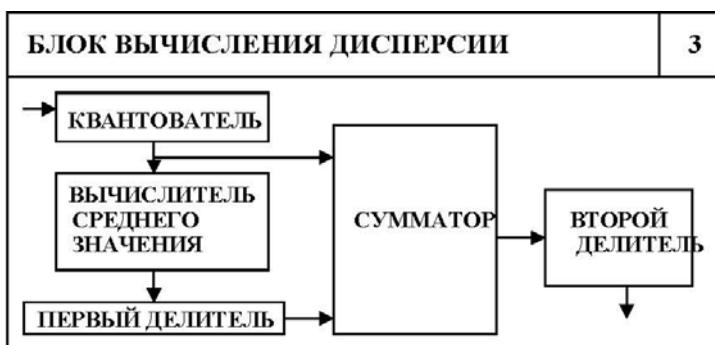


Рис. 2. Схема операций в блоке вычисления дисперсии.

Поиск аналитических соотношений, связывающих радиояркую температуру среды с ее термодинамическими и электрофизическими характеристиками, охватывает безусловно более общие классы функциональных моделей [1,2]. Наиболее общая форма такой зависимости имеет вид:

$$T_{Яi} = \kappa_i \int_0^{\infty} T(h) \gamma_i(h) \exp \left[- \int_0^h \gamma_i(x) dx \right] dh, \quad (3)$$

где $T(h)$ – термодинамический профиль среды, $T_{Яi}$ – радиояркая температура на частоте ν_i , $\gamma_i(h)$ – профиль коэффициента поглощения среды, κ_i – излучательная способность среды.

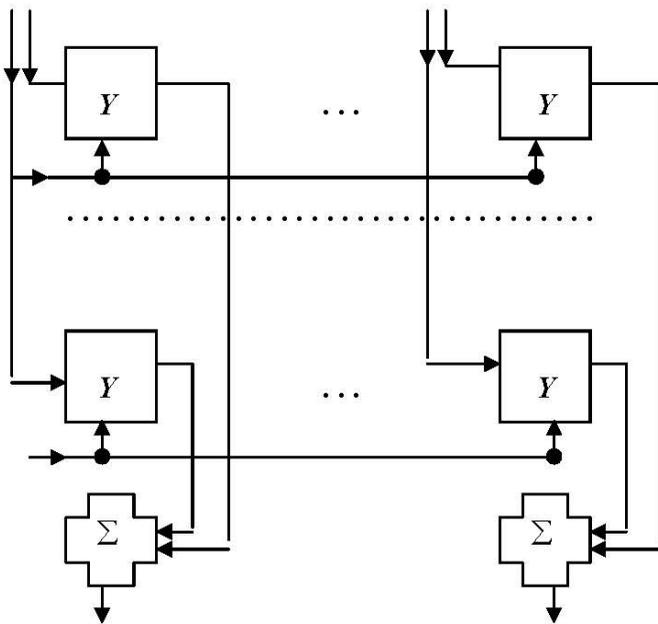


Рис. 3. Решающий блок. Обозначения: Y – умножитель, Σ – сумматор.

Соотношение (3) позволяет по $T(h)$ и $\gamma_i(h)$ находить $T_{Яi}$ (прямая задача) и по $T_{Яi}$ рассчитывать $T(h)$ и $\gamma_i(h)$ (обратная задача). Предлагаемый метод решения этих задач основан на использовании значений $T(h)$ и $\gamma_i(h)$ и их производных в точке $h=0$ при некоторых дополнительных ограничениях, вытекающих из существа проводимых в [2] преобразований. Они позволяют поставить задачу модернизации предложенного устройства путем введения нелинейных элементов преобразования сигналов радиометров. Это может быть реализовано на элементной базе современной микроэлектроники [3-5].

Литература

1. *Бородин Л.Ф., Васенков Л.В., Крапивин В.Ф., Малютин В.И.* Решение типовых СВЧ-радиометрических самолетных задач и определение параметров акваторий в радиоастрономическом диапазоне // *Геодезия и аэрофотосъемка.*- 1982, № 2.- С. 44-50.
2. *Бородин Л.Ф., Климов В.В., Стаканкин Ю.П.* Один метод интерпретации радиометрической информации. В сб. *Вопросы математического моделирования*, под ред. В.Ф. Крапивина, М.- ИРЭ РАН.-1979.- С. 101-114.
3. *Букатова И.Л.* Эволюционная нейрокомпьютерная технология. М.- Препринт ИРЭ РАН.- 1992, №4(572).- 32 с.
4. *Букатова И.Л., Михасев Ю.И.* Синтез адаптивных сетей с переменной структурой на основе мажоритарных микроэлектронных элементов // *Микроэлектроника.*- 1984, том 13, №5.- С. 439-447.
5. *Елинсон М.И., Суханов А.А.* (1984) Проблемы межсоединений в современной микроэлектронике // *Микроэлектроника.*- 1984, том 13, № 3.- С. 179-195.
6. *Крапивин В.Ф.* Радиоволновый экологический мониторинг. В кн.: *Экологическая диагностика*, под ред. В.В. Клюева, М.- Знание.- 2000.- С. 295-311.