

МЕТОД КОНТРОЛЯ СОЛЕННОСТИ ПОЧВЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Н.Г. Джавадов (НАКА Азербайджана, Баку)

Национальное аэрокосмическое агентство Азербайджана, директор, доктор технических наук, профессор.

Х.Г. Асадов (НАКА Азербайджана, Баку)

Национальное аэрокосмическое агентство Азербайджана, Научно-исследовательский институт аэрокосмической информатики, доктор технических наук, профессор (e-mail: asadzade@rambler.ru).

Ф.Т. Казимова (НАКА Азербайджана, Баку)

Национальное аэрокосмическое агентство Азербайджана, аспирант (e-mail: fergane.kazimova@mail.ru).

А.Дж. Алиева (НАКА Азербайджана, Баку)

Национальное аэрокосмическое агентство Азербайджана, старший специалист по докторантуре и диссертантуре, кандидат технических наук (e-mail: amidec.b@gmail.com).

METHOD FOR CONTROL OF ON – BOARD MEASUREMENTS OF SOIL SALINITY

N.H. Javadov (*doctor of technical sciences, professor, National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan*)

H.H. Asadov (*doctor of technical sciences, professor, National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan*)

F.T. Kazimova (*graduate student, National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan*)

A.Dj. Aliyeva (*doctor of philosophy, National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan*)

Аннотация. Статья посвящена предлагаемому методу контроля результатов бортовых измерений. В качестве основы использовано экстремальное свойство скалярной свертки метода многокритериальной оптимизации, представляющей собой взвешенную линейную комбинацию частных критериев. Для контроля бортовых данных используется признак появления экстремума в двух целевых функционалах составленного на основе результатов соответственно наземных контрольных и бортовых измерений. При этом измерения проводятся на тестовом участке, где имеется градиент солености почвы по геометрическим координатам. Совпадение геометрических мест появления экстремумов в двух случаях указывает на положительный результат проводимого контроля.

Summary. The article deals with the proposed new multi – criteria method for validation of on – board measurements. The extreme property of the scalar wrapping method of multi – criteria optimization is used as a basis, which is a weighted linear combination of specific criteria. To validate the on – board data. An indication of the occurrence of extremum in the target functional, composed on the basis ground and on – board measurements.

Measurements are carried out on a test site with a gradient of salinity of the soil based on geometric coordinates. The coincidence of the geometric locations of extremes in two functionals indicates a positive result of the validation.

Введение

Как отмечается в работе [1], соленость почвы может быть обнаружена методами лабораторного анализа, либо методом электромагнитных измерений проводимости почвы, либо на основе результатов бортовых измерений почвы с применением методов спектрального анализа. Также, может быть использован косвенный метод, заключающийся в исследовании содержания солей в растениях, выращенных на исследуемом земельном участке. Согласно работе [2], имеется большое количество спектральных показателей солености, вычисляемые на базе данных бортовых измерений имеющих различную степень коррелированности с результатами полевых лабораторных измерений.

Как указывается в работе [3], используемые для оценки степени солености почвы спектральные показатели, вычисляемые в виде отношения отсчетов в видимой и инфракрасном областях более информативны, чем основанные на измерениях в одной спектральной зоне. При этом, согласно [4], аналогичный показатель, вычисляемый на базе (*NDSI*) по данным бортовых измерений, имеет достаточно сильную корреляцию с электрической проводимостью почвы ($R=0.90$).

В тоже время для контроля результатов бортовых измерений солености почвы некоторый интерес представляют экстремальные комбинированные показатели, где возможность автоматизации поиска экстремума таких комбинированных показателей позволяет осуществить контроль результатов бортовых оценок солености почвы.

Целью настоящей работы является:

а) исследование возможности разработки нового, экстремального по сути спектрального составного показателя для оценки солености земельных участков, где первая составляющая этого показателя вычисляется по известной модели бортовых измерений на одной длине волны, а вторая по модели наземных измерений на другой длине волны;

б) исследование возможности использования предлагаемого экстремального показателя для осуществления контроля результатов бортовых измерений солености почвы.

Составной комбинированный индекс используемый для контроля результатов бортовых измерений реализуется с применением Парето оптимизации, согласно которой если критерий оптимизации какого – либо процесса может быть представлен в виде взвешенной скалярной суммы двух частных критериев, то возможно появление оптимальной рабочей точки, где улучшение по одному из критериев сопровождается ухудшением по другому критерию (рисунок).

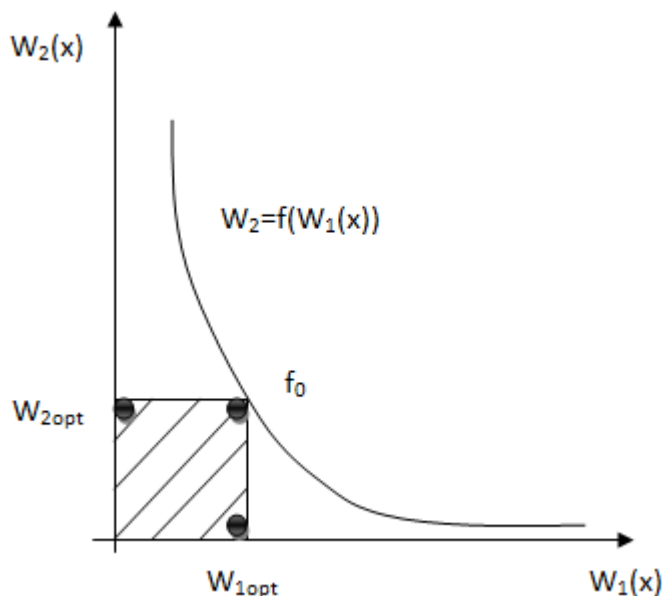


Рисунок. Графическое представление свойства двух используемых частных критериев оптимальности

По вышеуказанной процедуре комбинированный показатель составляется в виде следующей скалярной свертки

$$W_{10} = \alpha_1 \cdot W_1(x) + \alpha_2 \cdot W_2(x) \quad (1)$$

Рассмотрим наиболее простой случай, когда $W_1(x)$ является убывающей функцией x , а $W_2(x)$ является экспоненциально растущей функцией x , т.е.

$$W_1(x) = A_0 - k_1 x, \quad (2)$$

где измерения проводятся на длине волны λ_1 .

$$W_2(x) = B \cdot e^{k_2 x}, \quad (3)$$

где измерения проводятся на длине волны λ_2 ; $B, k_2 = \text{const}$; $\lambda_1 \neq \lambda_2$.

С учетом (1), (2), (3) получим:

$$W_{10} = \alpha_1(A_0 - k_1 x) + \alpha_2 B \cdot e^{k_2 x} \quad (4)$$

Иследуем (4) на экстремум от x . Имеем

$$\frac{dW_{10}}{dx} = -\alpha_{11} k_1 + \alpha_{21} B \cdot k_2 e^{k_2 x} \quad (5)$$

С учетом условия $\frac{dW_{10}}{dx} = 0$ получим

$$\alpha_{11} k_1 = \alpha_{21} B \cdot k_2 e^{k_2 x} \quad (6)$$

Из (6) находим

$$x = \frac{1}{k_2} \ln \frac{\alpha_{11} k_1}{\alpha_{21} B k_2} \quad (7)$$

Таким образом, при (7) составной критерий (4), характеризующий наземно-бортовые измерения достигает экстремума. При этом, экстремум является минимумом, т.к. вторая производная (4) по x оказывается положительной величиной. Как видно из выражения (7), оптимальная величина x оказывается функцией α_{11} и α_{21} .

Контроль результата бортового измерения осуществляется по следующему алгоритму:

1. Проводятся исключительно наземные измерения x по полю градиента солености почвы и фиксируются значения $X_{н.опт}$, k_1 , k_2 , α_{11} при которых значение (4) достигает минимума.

2. Проводятся вычисления критерия (4) используя результаты исключительно бортовых измерений в том же поле, при тех же значениях k_1 , k_2 , α_{11} . Фиксируется результат бортовых измерений $X_{б.опт}$, при котором критерий (4) достигает минимума.

3. Результат валидации считается успешным, если условие $X_{н.опт} = X_{б.опт}$ выполняется в одной и той же точке.

Согласно результатам экспериментальных исследований, изложенных в [5], между электрической проводимостью почвы (x) и значением спектрального показателя y_1 имеется следующая корреляционная зависимость

$$y_1 = 2.48 \cdot e^{3.24x} \quad (8)$$

Также, согласно [6], между другим спектральным показателем y_2 и x имеется следующее линейное соотношение

$$y = 99.7 - 111.81 \cdot CRSI \quad (9)$$

Для удобства математической записи (8) представим как

$$y = a_1 e^{a_2 x_1} \quad (10)$$

Выражение (9) представим как

$$y = a_3 - a_4 x_2 \quad (11)$$

Целевую функцию γ представим как

$$\gamma = \beta_1 y_1 + \beta_2 y_2; \text{ где } \beta_1 + \beta_2 = 1 \quad (12)$$

Исследуем (12) на экстремум.

$$\frac{dy}{dx} = \beta_1 \alpha_1 a_2 e^{\alpha_2 x} - \beta_2 a_4 = 0 \quad (13)$$

Из (13) получим

$$x = \frac{1}{\alpha_2} \ln \left(\frac{\beta_2 a_4}{\beta_1 \alpha_1 a_2} \right) \quad (14)$$

Таким образом, при условии (14) γ достигает экстремума который с учетом положительности знака производной выражения (13) является минимумом.

Следовательно, при фиксации условия $\gamma \rightarrow \max$, зарегистрировав значения β_1 и β_2 величину x можно вычислить по выражению (14).

Выводы

Таким образом, предложен наземно-бортовой метод валидации результатов бортовых измерений солености почвы. Метод основан на экстремальном свойстве скалярной свертки метода многокритериальной оптимизации, представляющей собой взвешенную линейную комбинацию частных критериев. Для валидации бортовых данных используется признак появления экстремума в целевом функционале составленного из взвешенных моделей наземных и бортовых измерений. При этом измерения значения целевого функционала проводятся на тестовом участке, где имеется градиент солености почвы по геометрическим координатам. Совпадение мест появления экстремумов целевых функционалов в случае проведения измерений в исключительно наземных и исключительно бортовых условиях индицирует достоверность результатов бортовых измерений.

Список литературы

1. Elhaddad., Garcia L. A. Detecting soil salinity levels in agricultural lands using satellite imagery.
2. Morshed Md. M., Islam Md. T., Jamil R. Soil salinity detection from satellite image analysis: an integrated approach of salinity indices and field data// Environ Monit Asses. 2016. 188:119. DOI:10.1007/s10661-015-5045-x.
3. Garcia L., Eldeiry A., Elhaddad A. Estimating soil salinity using remote sensing data.
4. Aceves E. A., Guevera H. J. P., Enriquez A. C., Gaxiola Jose de J. C., Cervantes Manuel de J. P., Barrientis J. H., Herrera L. E., Guevera V. M. P., Samuel C. L. Determining salinity and ion soil using satellite image processing// J. Environ. Stud. 2019. Vol. 28. No. 3. Pp. 1549-1560. DOI:10.15244/pjoes/81693.
5. Nguyen K-A., Liou Y-A., Tran H-P., Hoang P-P., Nguyen T-H. Soil salinity assessment by using near – infrared channel and vegetation soil salinity index derived from Landsat 8 OLI data: a case study in the Tra Vinh province, Mekong Delta, Vietnam. Nguyen// Progress in Earth and Planetary Science. <https://doi.org/10.1186/s40645-019-0311-0> .
6. Scudiero E., Skaggs T. H., Corwin D. L. Regional – scale soil salinity assessment using Landsat ETM+ canopy reflectance// Remote Sensing of Environment. 2015. Vol. 169. Pp. 335-343.