S E N S   2 0 0 7
Third Scientific Conference with International Participation
SPACE, ECOLOGY, NANOTECHNOLOGY, SAFETY
27–29 June 2007, Varna, Bulgaria

МЕТОДИ ЗА ОТКРИВАНЕ НА ЗОНИ С ПРОМЕНЛИВИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ОТРАЖЕНИЕТО

Михаил Желязов,Теодора Петрова

РУ "Ангел Кънчев" - Факултет ЕЕА, Катедра КТТ
e-mail: mjeliazov @ mail.bg

Ключови думи: *дистанционно сондиране,огнище на поражение, алгоритми за обработка*

Резюме: *На основата на обработката на данни, събрани от дистанционното сондиране на земната повърхност, е показана възможността за намиране на огнището на поражение в гора при въздействие на пожар, и получаването на оценка за последиците от радиационното замърсяване.*

Намирането и мониторинга на огнищата на поражение на околната среда, в следствие на природни катаклизми, или дейности на човека са едни от важните аспекти в екологията. Част от техническите средства, годни за решаването на тази задача е методът за дистанционно сондиране на Земята от космоса, и особено когато е необходимо наблюдение на труднодостъпни райони и места, и такива, които са опасни за живота и здравето на човека. Решаваща роля в повишаването на качеството на информацията от наблюдението, играе цялостното използване на данните за един или друг участък от земната повърхност, получени с помощта на различни датчици в едно и също време, както и на един датчик или няколко в различни моменти от време. Като датчици могат да се използват: пасивни датчици с инфрачервен и оптичен диапазон, работещи в различни диапазони на честотния спектър; радиолокатори със синтезирана апертура. Последните представляват особен интерес, тъй като върху тяхната ефективност практически не влияят природните фактори и условията на осветеност.

Обикновено на етап вторична обработка на данните от отделните датчици, постъпила във вид на яркостно изображение в цифрова форма. Един от най-елементарните методи за получаване на допълнителна информация за наблюдавания обект на този етап, при съвместна обработка на изходните данни, е формирането на вторично изображение като линейни комбинации от яркостни първични изображения.

Нека изходните данни съдържат в себе си набор от M отделни изображения на един и същ участък от земната повърхност, като всяко от тях, съдържа N пиксела, а в резултат на обработката се получават L изображения. Следователно, изходните данни след обработка могат да се представят като N реализации на M и L – мерният вектор. Стойността на яркостта y_l на i -тия пиксел $(1 \le i \le N)$ в l -тото формирано изображение $(1 \le l \le L)$ се определя чрез система от уравнения:

$$
\begin{aligned}
&y_{1i} = g_{11}x_{1i} + g_{12}x_{2i} + \ldots + g_{1M}x_{Mi}, \\
&y_{2i} = g_{21}x_{1i} + g_{22}x_{2i} + \ldots + g_{2M}x_{Mi}, \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots, \\
&y_{Li} = g_{L1}x_{1i} + g_{L2}x_{2i} + \ldots + g_{LM}x_{Mi},
\end{aligned} \tag{1}
$$

където x_{mi} е яркостта на i -тия пиксел в изходното m -то изображение $(1 \le m \le M)$, а g_{pq} - набор от тегловите коефициенти $(1 \le p \le L, 1 \le q \le M)$. Казано с други думи, за всяко ново изображение се определя набор от теглови коефициенти, които, на свой ред са поставени в съответствие с изходното изображение. В матрична форма изразите (1) могат да се представят във вида:

$$Y_i = GX_i \ , \tag{2}$$

където X_i и Y_i са векторни стълбове на пикселите x_{mi} и y_{li} на изходното и на преобразуваното изображение.

G е правоъгълна матрица с коефициент g_{pq} и с L редици и M стълба.

Понеже координатата x_{mi} на вектора X_i съдържа в себе си стойността на изменящия се в случайния образ яркост на отделните i -тити точки на изходното изображение, а вектора X_i съдържа случен М-мерен вектор. Той се характеризира със следната стойност:

(3) $$m_X = E\{X_i\} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_i ,$$

където символа $E\{\cdot\}$ означава усредненото множество на i пиксела, а ковариационната матрица:

(4) $$R_X = E\{(X_i - m_X)(X_i - m_X)^T\},$$

където символа Т е операцията транспониране. Аналогично за L мерния вектор за Y_i има средна стойност:

(5) $$m_Y = E\{Y_i\} = E\{GX_i\} = GE\{X_i\} = Gm_X ,$$

а ковариационната матрица:

(6) $$\begin{aligned} R_Y &= E\{(Y_i - m_Y)(Y_i - m_Y)^T\} = \\ &= E\{(GX_i - Gm_X)(GX_i - Gm_X)^T\} = GR_X G^T \end{aligned}.$$

В зависимост от целите на вторичната обработка съществуват различни методи за избор на матрица G за линейното преобразование (2). Ще се обърне внимание на това, че по правило, изходните изображения се оказват корелирани. Това се обяснява с наличието на област със стабилни свойства и допълнителни специфични, изменящи се детайли. Подобни особености могат да бъдат разделени, ако матрицата G се избере така, че при преобразуването, изображенията да станат некорелирани, а матрицата R_Y диагонална:

(7) $$R_Y = \begin{Vmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_L \end{Vmatrix},$$

където $\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_L$ са някакви числа.

В рамките на даденото разглеждане, при избора на L е достатъчно да се ограничи ситуацията, когато $L = M$, а матрицата G се оказва квадратна. Както ще се види по късно, когато се увеличава L - информацията, която се получава при вторична обработка на изображението, силно се понижава.

В такъв случай, задачата за избор на G се свежда до решаването на проблема за диагонализация на матрицата R_X , така че на свой ред се съставя задача, която намира собствените стойности и собствените вектори на матрицата R_X [1]. Под собствен вектор на някаква матрица А се подразбира вектор Z, който удовлетворява уравнението:

(8) $$AZ = kZ ,$$

където k е число, което съответства на вектор Z и се явява едно от собствените числа на матрицата А.

Количеството собствени числа и вектори определят нейния вид. В теорията за матриците е показано, че за симетрична матрица, собствените числа трябва да са действителни, а собствените вектори ортогонални [2]. Поради което се избират собствени вектори на симетричната матрица R_X в качеството на ред от матрицата G, като се стига до диагонализация на R_Y от съотношението (6), където числата $\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_M$, са разположени на нейният главен диагонал и се оказват равни на съответстващите собствени стойности на собствените вектори.

Процедурата по намиране на собствените вектори предполага два етапа. В началото се намират собствените стойности на $\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_M$ на матрицата R_X , която се намира чрез решаване на уравнението:

(9) $$\det(R_X - \lambda I) = 0 ,$$

където I е единична матрица.

За това се определя собствения вектор $H_1, H_2, ..., H_M$ и се решава система от матрични уравнения:

$$(10) \quad \begin{aligned} &(R_X - \lambda_1 I)H_1 = 0, \\ &(R_X - \lambda_2 I)H_2 = 0, \\ &\dots\dots\dots\dots\dots\dots, \\ &(R_X - \lambda_M I)H_M = 0. \end{aligned}$$

В резултат на това решенията за всеки от М вектора $H_i(i = 1,2,...,M)$ се намират от координатите $h_{i1}, h_{i2}, ..., h_{iM}$.

Системата уравнения (10) има множество решения. При налагането на вектора H_i на ограничения и нормиране:

$$(11) \quad \sum_{j=1}^{M} h_{ij}^2 = 1, \qquad \text{при} \quad i = 1,2,....,M \text{ ,}$$

решаването на системата е еднозначно с точност до направление, тъй като, ако някакъв вектор H_i^0 е решение на системата (10), то и вектор $-H_i^0$ също ще я удовлетворява. След подреждане на векторите според увеличаването на техните собствени числа $\lambda_M < \lambda_{M-1} <....< \lambda_1$ координатите h_{ij} могат да се използват като теглови коефициенти в системата (1) с отчитане на :

$$(12) \quad g_{ij} = h_{ij} .$$

Алгоритъмът (1) за обработка на първичните данни при избор на теглови коефициенти в съответствие със съотношението (12) се нарича “метод на главните компоненти” (МГК), а резултатите от неговото прилагане-множествата $y_{1i}, y_{2i},..., y_{Mi}$, $(1 \le i \le M)$ се наричат съответно първи (PC-1), втори (PC-2) и т.н. главни компоненти [3-6].

Както е показано по-горе, обикновено стойността на x_{mi} пиксел на изходното изображение, съдържа в себе си големината на тяхната яркост и следователно са положителни числа, т.е. винаги x_{mi} ≥0. В това време коефициентът g_{ij} , зависещ от ковариационната матрица R_X , може да има различен знак до колкото някой от изходните стойности $y_{1i}, y_{2i},..., y_{Mi}$, могат да са отрицателни и техните непосредствени отражения, например на екрана на монитора, във вид на точка с определена яркост стане невъзможно. За да се избегне това в съответната l -та главна компонента е достатъчно да се добави необходимото положително изместване, което осигурява изпълнение на неравенството $y_{li} \ge 0 \; (1 \le i \le N)$. Както следва от отношение (6), такова изместване не влияе на некохерентността на преобразуваното изображение.

Ако динамичния диапазон на изходните данни превишава динамичния диапазон на устройството за отражение, то е необходимо допълнително да се прекарат през мащабиране. Елементите от двойката на вторичното изображение, съответстващо на някаква двойка решения H_i^0 и $-H_i^0$ на системата (10), се отнасят между себе си както позитив и негатив. Избира се някое от изображенията, което по формален признак се отнася към позитивното, а същото такова към негативното е невъзможно, поради което този избор е произволен. Трябва да се отбележи, че в точката на виждане се откриват някой характерни особености на разглеждания кадър и избора може да се окаже напълно еднозначен.

В допълнение на изложеното може да се каже, че МГК има ред на вариантите [4-8]. Един от тях се състои в това, че собствения вектор се определя не чрез ковариационната матрица R_X с елементи R_{pq} , както по-горе, а чрез матрицата на коефициентите на взаимна корелация r_X с елементи r_{pq} , която се получава в резултат на нормирането на ковариационната матрица:

$$(13) \quad r_{pq} = \frac{R_{pq}}{\sqrt{E\left\{\left(x_{pi} - E\{x_{pi}\}\right)^2\right\} E\left\{\left(x_{qi} - E\{x_{qi}\}\right)^2\right\}}} .$$

В този случай, при отчитане на собствения вектор се отчита единствено корелационната връзка между отделните изходни изображения, които могат да се окажат важни, ако абсолютното ниво на сигналите в отделните канали е несъществено за описаните сведения за сцената или изкривени в следствие погрешна калибровка.

Съществува разновидност на МГК, когато собствения вектор се изчислява с ковариационна или корелационна матрица, получена по някакви си части от изходното изображение. Обобщение на тази разновидност се явява прилагането на притегляща функция при отчитането на корелационните коефициенти [7].

Възможен вариант на МГК при обучение е, когато собствения вектор се определя по някакво еталонно изображение.

Така както коефициентите, които са изчислени чрез формулите (4) и (12), представляват случайни числа, то е възможно да възникне аномално изхвърляне, обуславящо не големи количества отделни пиксели в изходното изображение. Методите за борба с тези ефекти са прилагането на итеративни алгоритми, които са основани на изключване на такива „неправилни" пиксели [8].особеностите при формирането на главните компоненти при наличие на шум са разгледани в [9].

МГК може да се използва в система за отразяване. В случая силната корелация на данните от различните източници често основната част от информацията се съдържа в първите три главни компонента. Тогава те е възможно да бъдат отразени на дисплея чрез три цветни канала при формирането на псевдоцветно изображение. Този метод може да бъде също използван за свиване на данни [3,10,11], което е полезно при тяхната регистрация или предаване, когато се предават само главните компоненти, в които е съсредоточена основната част от информацията. МГК е перспективен при разкриване на различия между отделни изображения. Той заема особено място при съвместяване на изображенията, получени от различни източници с различни разрешения [12-14].

Освен МГК съществуват и други способи за избор на матрица G при линейно преобразуване (2). В метода на независимите компоненти МНК (ICA-independent component analysis), матрицата за преобразуване се избира така, че минимизирането на функцията на загубите, зависи само от коефициентите от трети и четвърти ред. Нейните елементи се намират чрез градиентен метод. Ако МГК формира компонентите като некоригирани, то МНК ги прави по възможност независими. Методът МНК позволява да отделят редица характерни особености в изображението [15-18].

Съвместната линейна обработка с коефициентна матрица, избрана в съответствие с МГК се използва при обработката на многоканални изображения.

Целесъобразна е бъдещата употреба на МГК за откриване и разпознаване на конкретни обекти при обработката на данни от многоканално дистанционно сондиране.

Литература

1. М а ш и н а А.П., И. В. П р о с к у р я к о в. Высшая алгебра. М.: Физматгиз, 1962.
2. К у р а ш А.Г. Курс высшей алгебры. М.: Физматгиз, 1962.
3. R e a d y P.J., P. A. W i n t z. // IEEE Trans.1973. V. COM-21. №10. P. 1123.
4. F u n g T., E. Le D r e w. // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1987. V. 53. №12. P. 1649.
5. J a c k s o n J.E. A User`s Guide to Principal Components. N.Y.: John Wiley & Sons, 1991.
6. R i c h a r d s J.A. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction. B.: Springer, 1993.
7. C h e n g Q. // Records Proc. IGARSS`02. Toronto, Canada. 24-28 June, 2002. Piscataway NJ, USA: IEEE, 2002. CD-ROM.
8. N i e m e y e r I., M. C a n t y, D. K l a u s. // Proc. IGARSS`1999. Hamburg, Germany. 28 June-2 Jule, 1999. Piscataway NJ, USA: IEEE, 1999. P.327.
9. C h e n g C.-I., Du Q. // IEEE Trans. 1999. V. GRS-37. №5. P. 2387.
10. L i m S., K.H. S o h n., C. L e e. // Proc. IGARSS`01. Sydney, Australia. 9-13 July, 2001. Piscataway NJ, USA: IEEE, 2001. P.97.
11. У с п е н с к и й А.Б., С.В. Р о м а н о в, А.Н. Т р о ц е н к о. // Исслед. Земли из космоса. 2003. №3. С. 26.
12. T a p l e y B. D., C r a w f o r d M. M., T. H o w a r d, D. K e i t h et al. // Proc. IGARSS`01. Sydney, Australia. 9-13 July, 2001. Piscataway NJ, USA: IEEE, 2001. P.824.
13. T s e n g D.-C., Y.-L. C h e n, M. S. C. L i u // Ibid. P. 1956.
14. Z h a n g Y. A. // Proc. IGARSS`02. Toronto, Canada. 24-28 June, 2002 Piscataway NJ, USA: IEEE, 2002. P.2429.
15. C h e n C. H.// Ibid. P. 1032.
16. L e e T. W. Indepndent Component Analysis: Theory and Applications. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998.
17. C h e n C. H., X. Z h a n g // Proc. IGARSS`00. Honolulu, Hawaii. 24-28 July, 2000. Piscataway NJ, USA: IEEE, 2000. P.2620.
18. C h i a n g S.-S., C h e n g C.-I., I. W. G i n s b e r g. // Ibid. P. 3136.