

СПЕКТРАЛНА РАЗДЕЛИТЕЛНА СПОСОБНОСТ НА ВИДЕОСПЕКТРОМЕТРИЧНИ СИСТЕМИ

Валентин Атанасов, Георги Желев

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: vatanassov@space.bas.bg

Ключови думи: спектроскопия, видеоспектрометри, спектрална разделителна способност.

Резюме: В работата са разгледани основните функции и параметри определящи спектралната разделителна способност на една видеоспектрометрична система. На базата на получени лабораторни резултати са формулирани изисквания за определяне на спектралната разделителна способност на видеоспектрометрична система

SPECTRAL RESOLUTION OF IMAGING SPECTROMETRIC SYSTEMS

Valentin Atanassov, Georgi Jeleв

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: vatanassov@space.bas.bg

Keywords: spectroscopy, imaging spectrometers, spectral resolution.

Abstract: In this paper are discussed the basic functions and parameters for revealing and determining spectral resolution of imaging spectrometric systems. On the basis on laboratory obtained results are formulated the essential requirements for spectral resolution of an imaging spectrometric system.

1. Въведение

Видеоспектрометричните системи се наложиха като основно средство за изследване на земната повърхност. Една от най-важните характеристики, с които се описва подобна система е характеристиката спектрална разделителна способност. Тя е основна характеристика и в най-голяма степен от нея зависят спектралните характеристики на получаваните изображения и от там точното определяне на спектралните характеристики на изследваните обекти [1].

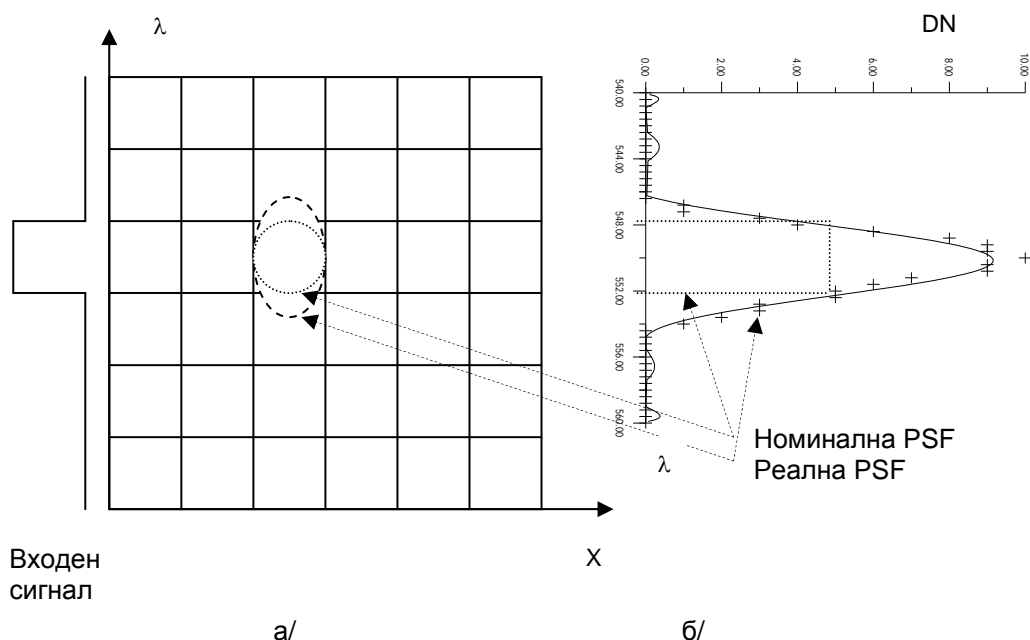
Съществуващата необходимост от добро разделяне и регистриране на спектралните съставни на изследваните обекти е свързана с изисквания за изобразяване с висока разделителна способност на пространствените елементи от изображението [2, 3, 4]. Следователно високата спектралната разделителна способност диктува и високи изисквания към пространствената разделителна способност на видеоспектрометричните системи. Огромният потенциал на получаваните от видеоспектрометрите спектрални изображения доведе до разработване на прибори с висока спектрална и пространствена разделителна способност – т. нар. хиперспектрални системи [5].

Спектралната разделителна способност на една система определя броя на спектрални канали, в които сензорът може да получава отразено електромагнитно излъчване. Но броят на каналите не е единственият важен аспект на спектралната разделителна способност. Позицията на групи канали в електромагнитния спектър също е важна. В зависимост от броя спектрални канали може да бъде разделена на:

- висока спектрална разделителна способност: - $n \times 100$ канала, т.нар. хиперспектрални прибори;
- средна - $n \times 10$ канала;
- ниска - 3-5 канала.

2. Определяне на спектралната разделителна способност

Както споменахме, истинската спектрална разделителна способност зависи не само от броя на спектралните канали, а от действителната оптична разделителна способност на системата. Тя може да бъде определена чрез получаване на т.нар. спектрална функция на отговор на прибора - spectral response function (SRF). Спектралната функция на отговор е използвана за описание на реакцията на инструмента при входно въздействие лъчение с тясна честотна лента (фиг. 1 ляво). В повечето случаи спектралната функция може да бъде апроксимирана с Гаусов модел или полиномиална апроксимация (фиг. 1 дясно) [6].



Фиг. 1. Илюстрация на определяне на спектралната разделителна способност посредством спектрална функция на отговор SRF (spectral response function) фиг.1а, експериментално получена спектрална функция на отговор SRF на видеоспектрометрична система фиг.1б.[6]

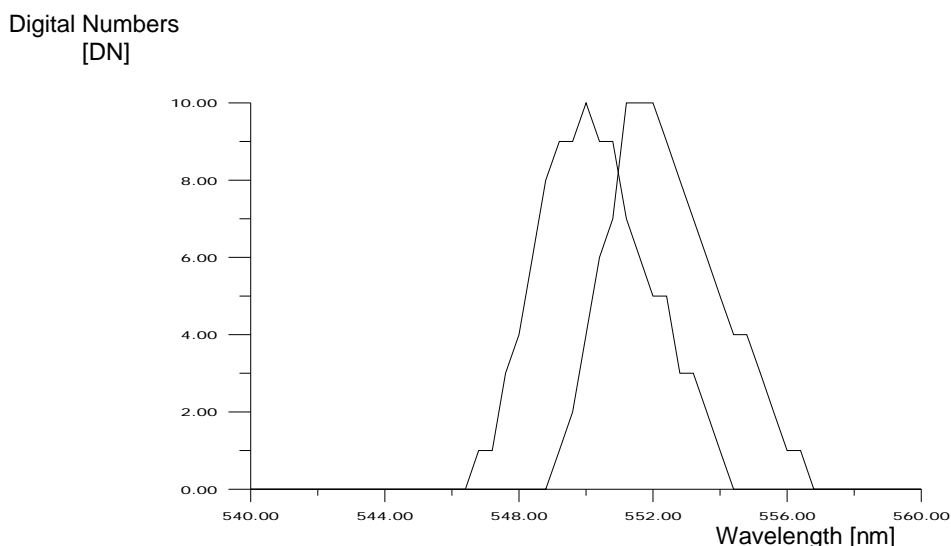
Следните термини са използвани най-често при описание на спектралната разделителна способност и характеризация на спектралните качества на системата:

- спектрален дискретизиращ интервал, отнасящ се до отделяне на две съседни спектрални линии;
- ширина $\Delta\lambda$ на спектрален канал;
- позиция λ_{oi} на спектрален канал;
- пикселна дисперсия $\Delta\lambda/\text{пиксел}$ [6, 7].

Тези характеристики точно определят спектралната разделителна способност на прибора и могат да бъдат използвани както поотделно, така и в комбинация .между тях.

2.1. Спектрален дискретизиращ интервал

Спектралният дискретизиращ интервал се определя от разстоянието (в единици дължина на вълната) $\Delta\lambda_R$ между две съседни спектрални линии, разделени от прибора. Най-широко разпространен критерий за определяне на спектралния дискретизиращ интервал е критерия на Релей [6], според който две съседни спектрални линии с интензитет $I_{\max,1} = I_{\max,2}$ могат да бъдат разделени, ако намаляването на интензитета на тези линии е по-голямо от 19% ($\Delta I_{\text{decrease}} \geq 19\%$). Фиг. 2 показва измерен спектрален дискретизиращ интервал на прибора, съгласно критерия на Релей, $\Delta\lambda_R = 2\text{nm}$.



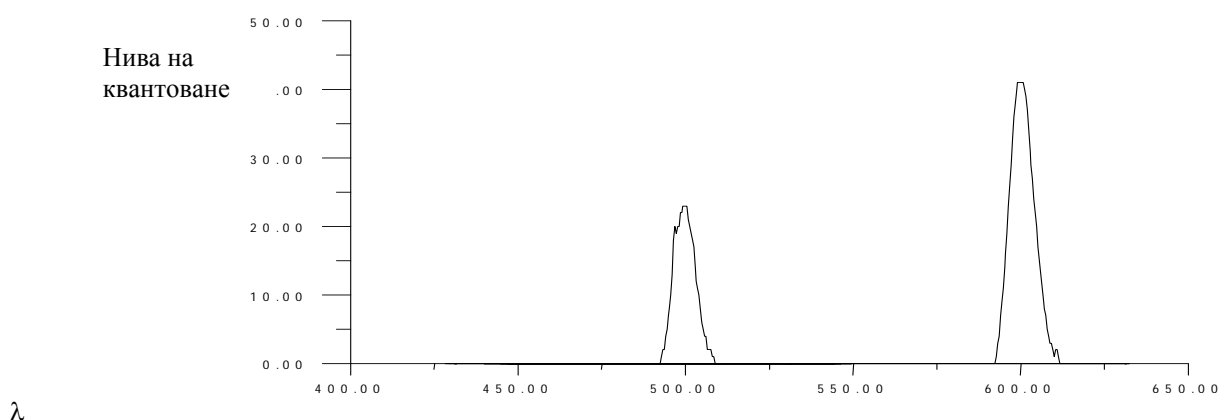
Фиг. 2. Спектрални функции на отговор на видеоспектрометър ($\Delta\lambda_{in}=1.65\text{nm}$, $\lambda_{01}=550\text{nm}$, $\lambda_{02}=552\text{nm}$), определящи спектралния дискретизиращ интервал

2.2. Широчина на спектрален канал

Спектралната разделителна способност [6] в направление перпендикулярно на направлението на движение на носителя определена чрез широчината на спектралния канал на прибора по критерия FWHM (full width at half maximum) $\Delta\lambda_{FWHM} = 4\text{nm}$ (фиг.1 дясно).

2.3. Позиция на спектрален канал

Функциите на спектрален отговор за всеки канал, покриваща целия спектрален диапазон, може да бъде получена чрез измерване през определени спектрални интервали (фиг. 5) и последваща интерполация на получените данни. Имайки предвид основното уравнение на дифракционна решетка и факта, че комбинацията от дифракционна решетка и CCD матрица притежава точна геометрична подредба, то разпределението на центровете на дължините на вълните на каналите е функция на линейната позиция върху елементите на матричната структура [7].



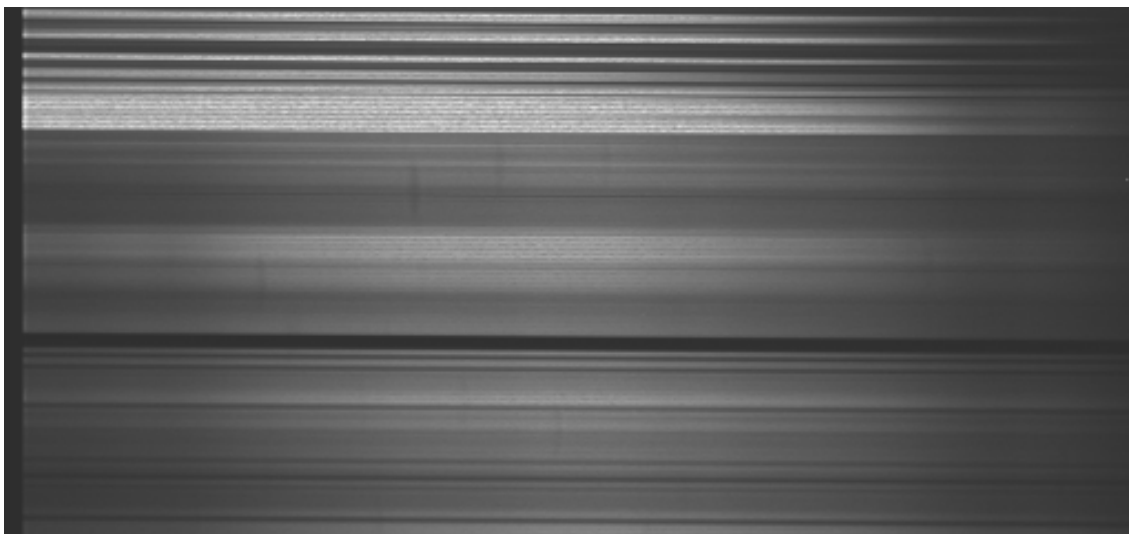
Фиг. 3. Реакция на видеоспектрометър при входни въздействия с централни дължини на вълната $\lambda_{01} 500\text{nm}$ и $\lambda_{02} 600\text{nm}$

2.4. Пикселна дисперсия

Пикселната дисперсия и спектралната разделителна способност са свързани еднозначно посредством функционалните характеристики на един спектрален прибор. При измерената широчина на спектрален канал $\Delta\lambda_{FWHM} = 4\text{nm}$ (фиг.4) покриваща 10 пиксела на матрицата, пикселната дисперсия $\Delta\lambda/\text{pixel} = \Delta\lambda_{FWHM}/10 = 4/10 = 0.4\text{nm}$.

Други допълнителни данни с които трябва да разполагаме за една по пълна характеристика на спектралната разделителна способност на хиперспектрална видеоспектрометрична система са:

- неточна спектрална регистрация (spectral misregistration) – вариации на централната дължина на вълната на каналите като функция пространствените пиксели, изразяваща се в:
- smile ефект



Фиг. 4. Експериментално получено спектрално изображение - smile ефект

- misalignment ефект.



Фиг. 5. Експериментално получено спектрално изображение - misalignment ефект

Следователно е необходимо да разполагаме с карта на измервания на спектралната разделителна способност по пространствената ос x за множество дължини на вълната в спектрално направление.

3. Изводи

1. Определянето на спектралната разделителна способност е един от най-важните етапи при характеристиката на видеоспектрометрична система.

2. Необходимо е да отбележим, че независимо от многото изброени параметри, дефиниращи спектралната разделителна способност на една спектрометрична система, то точното и описание е валидно само за много добре настроена система.

3. Спектралната разделителна способност като една от най-важните характеристики на видеоспектрометрична система до голяма степен определя и областите на приложение на такава система.

Благодарности

Работата е извършена по проект ДФНИ-И01/8/2012, финансиран от Фонд Научни Изследвания, Министерство на образованието, младежта и науката, Република България.

Литература:

1. Slater, Ph., N. Remote Sensing. Optics and Optical Systems. Addison-Wesley Publishing Company. 1980.
2. Atanasov, V., B. Peev, N. Vassilev, V. Vassilev, V. S. Boycheva. A Description of an Imaging Spectrometer Model. Seventh International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, 20 – 22 May 2002, Miami, Florida.
3. Petkov, D., G. Georgiev, H. Nikolov. Thematically oriented multichannel spectrometer /TOMS/. Aerospace Research in Bulgaria, No 20, 2005. pp.51-54.
4. Борисова, Д., Сравнение между отражателните спектри на граници получени с различна спектрометрична апаратура. ANNUAL OF THE UNIVERSITY OF MINING AND GEOLOGY "ST. IVAN RILSKI", Vol. 50, Part I, Geology and Geophysics, 2007.
5. Atanasov, V. I., B. B. Peev, N. N. Vassilev, V. K. Vassilev Hyperspectral Imaging Spectrometer as a Power Tool for Ecological Monitoring. Journal of Balkan Ecology, vol.4, № 2, 2001. pp. 168 – 170.
6. Атанасов, В., Б. Пеев, Н. Василев, В. Василев. Спектрална и пространствена разделителна способност на модел на видеоспектрометър. Седма национална конференция с международно участие "Съвременни проблеми на слънчево-земните въздействия", София, ноември 2000, Сборник доклади, стр. 151-154.
7. Schaepman, M. E. Calibration of a Field Spectroradiometer. University of Zurich, Zurich, Switzerland, 1998.