

СПЕКТРАЛНА ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ НА ВИДЕОСПЕКТРОМЕТРИЧНИ ПРИБОРИ

Валентин Атанасов, Деница Борисова, Христо Лукарски, Бойко Ценов

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

Ключови думи: видеоспектрометри, спектрална характеристика, алгоритми

Резюме: В работата са систематизирани основни прилагани подходи и получавани резултати при изпълнение на процедури за спектрална характеристика на видеоспектрометрични прибори в лабораторни условия. Описани са главните спектрални характеристични функции на инструментите от този клас и методите за тяхното определяне. Представени са част от резултатите, получавани в процеса на лабораторна характеристика на видеоспектрометри с висока спектрална и пространствена разделителна способност (хиперспектрални прибори). Въз основа на анализ на получените резултати е синтезиран и предложен примерен алгоритъм за спектрална характеристика на видеоспектрометрични прибори.

SPECTRAL CHARACTERIZATION OF IMAGING SPECTROMETRIC DEVICES

Valentin Atanassov, Denitsa Borisova, Hristo Lukarski, Boyko Tzenov

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

Keywords: imaging spectrometers, spectral characteristics, procedures for spectral characterization

Abstract: In the article are considered and systematized basic approaches and applied procedures for spectral characterization of imaging spectrometer devices. The main spectral characteristics of the instruments and methods for their determination are described. A part of the results obtained in the characterization process of the imaging spectrometers with high spectral and spatial resolution (hyperspectral instruments) are shown. Based on analysis of results is proposed an exemplary algorithm for spectral characterization of imaging spectrometer devices.

1. Въведение

Видеоспектрометрите са прибори за получаване на спектрални изображения в няколко или десетки или стотици (хиперспектрални прибори) спектрални ленти от електромагнитния спектър. Посредством измерването на пристигащото лъчение от всеки пространствен елемент на наблюдаваната повърхност може да бъде направена директна или индиректна идентификация на наблюдаваните обекти от повърхността, използвайки специфичните им молекулярни абсорбционни свойства. Пространствената съставка на получените данни позволява изграждане на карта на повърхността с тяхното количествено разпределение. При хиперспектралните прибори тези данни се отличават с висока спектрална и пространствена разделителна способност [1,2].

2. Основни спектрални характеристични функции

Спектралната характеристика се използва за верификация на основните спектрални функции на видеоспектрометрични прибори. Като такива се явяват спектрална характеристика на чувствителност, спектрална дисперсна функция, спектрална разделителна способност и др.

2.1 Спектрална характеристика на чувствителност

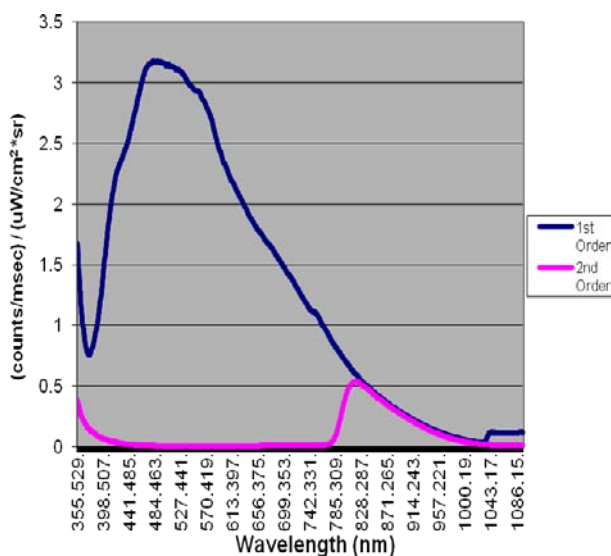
Спектралната характеристика на чувствителност:

$$(1) \quad S(\lambda) = \Delta U / \Delta L(\lambda)$$

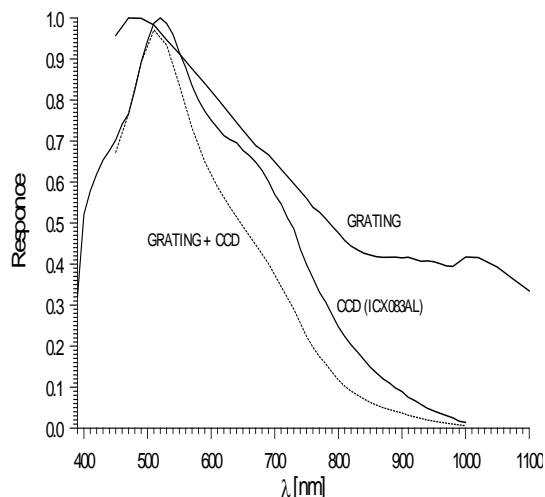
при $\Delta L(\lambda) = \text{const}$,

изразява зависимостта на отговора на прибора като функция от дължината на вълната λ на входно въздействие с постоянен интензитет $\Delta L(\lambda) = \text{const}$.

Основен подход за определяне на спектралната характеристика на чувствителност $S(\lambda)$ на спектрометрични прибори в лабораторни условия предполага директно получаване на характеристиката чрез въздействие на входа на прибора с монохромно лъчение с постоянен интензитет ($\Delta L(\lambda) = \text{const}$) и променлива дължината на вълната λ за целия спектрален диапазон. Спектралната характеристика на чувствителност на видеоспектрометъра се изразява като като зависимост на реакцията на прибора от промяната на дължината на вълната λ на монохроматично лъчение (фиг.1). За измерване на спектралната характеристика се използва калибриран източник с известна спектрална плътност на лъчистия поток $\Phi(\lambda)$. Измерва се амплитудата на напрежението на изходния сигнал U . Отношението $\Delta U / \Delta L(\lambda)$ детерминира спектралната характеристика на чувствителност: $S(\lambda)$ на прибора [3].



Фиг. 1. Спектрална характеристика на хипер-спектрален прибор



Фиг. 2. Спектрални характеристики на CCD сензор, дифракционна решетка и резултантна спектрална характеристика на видео-спектрометър

Друг подход за определяне на спектралната характеристика на чувствителност $S(\lambda)$ на спектрометрични прибори, обикновено прилаган при етапите на конструиране на прибора, включва изследване на спектралните характеристики на основните спектрално зависими елементи, влизащи в състава им - CCD сензор и дифракционна решетка. Спектралната характеристика на чувствителност за CCD сензора се изразява като като зависимост на генерирания и получен на изхода заряден пакет от промяната на дължината на вълната λ на монохроматично лъчение. За измерване на спектралната характеристика тук също се използва калибриран източник с известна спектрална плътност на лъчистия поток $\Phi(\lambda)$. - монохроматор. Измерва се амплитудата на напрежението на изходния сигнал U_{ij} по отношение на тъмнинния сигнал U_{ij}^c .

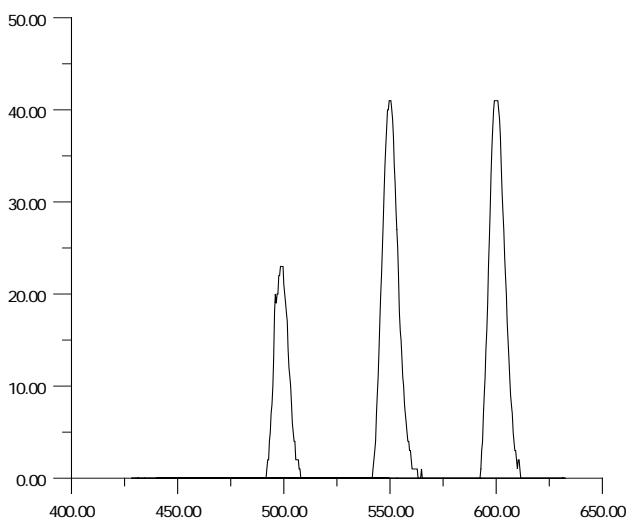
Експериментално определената спектрална характеристика на образец CCD матрица е показана на фиг.2. По същата методика е определена и спектралната характеристика на дифракционна решетка и въз основа на двете характеристики е получена и резултантната спектрална характеристика на оптико-електронен блок на видеоспектрометър [4].

2.2. Спектрална дисперсна функция

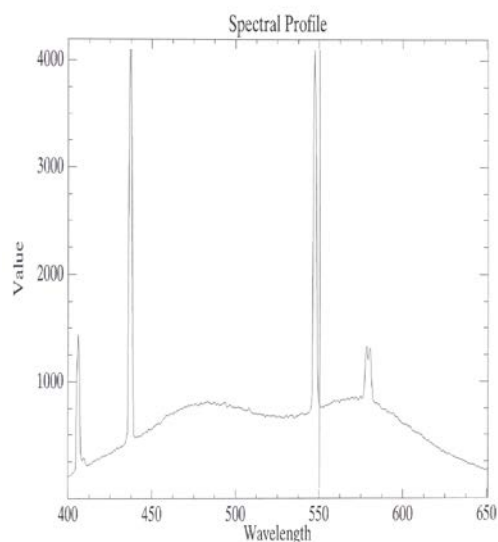
Тази характеристика илюстрира дисперсното разположение на спектралните канали на приборите в целия спектрален диапазон. Тя се използва за точното определяне на централната дължина на вълната λ_{0n} за всеки спектрален канал.

Един от подходите за получаване на спектралната дисперсна функция е въздействие на входа на прибора посредством калибриран монохромен източник (с известни централни дължини на вълната на спектралните ленти. Измерва се амплитудата на напрежението на изходния сигнал U_{ij} по отношение на тъмнинния сигнал U_{ij}^c . Функцията на спектрален отговор за всеки канал, покриваща целия спектрален диапазон, може да бъде получена чрез измерване през определени интервали (фиг. 3) и последваща екстраполация на получените данни.

Нива на квантоване



Фиг. 3. Реакция на видеоспектрометър при входни въздействия с различни централни дължини на вълната λ_0



Фиг. 4. Реакция на видеоспектрометър при входно въздействие осветяване с Hg лампа

Друг подход за получаване на спектралната дисперсна функция предполага въздействие на входа на прибора посредством калибриран източник на излъчване – например при използване на полупроводникови диодни лазери, калибрационни лампи с добре изразени атомни абсорбционни линии в спектъра на излъчването им такава като Hg или PtCrNe лампи. (фиг. 4) или спектрални филтри

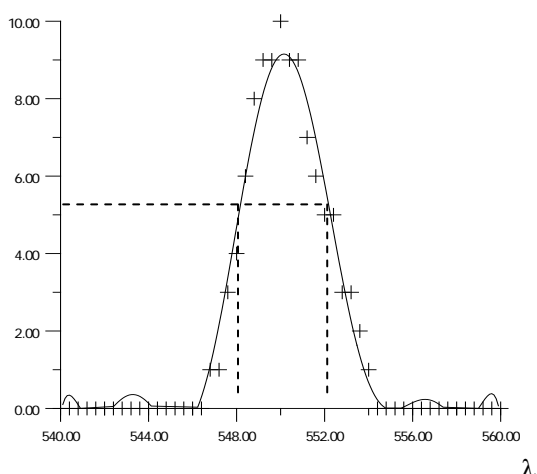
2.3 Спектрална разделителна способност

Следните термини са използвани най-често при описание на спектралната разделителна способност: широчина на спектрален канал $\Delta\lambda$, спектрален дискретизиращ интервал, отнасящ се до отделяне на две съседни спектрални линии и пикселна дисперсия $\Delta\lambda/\text{пиксел}$ [5, 6]. Тези характеристики точно определят спектралната разделителна способност на прибора и могат да бъдат използвани както поотделно, така и в комбинация .между тях.

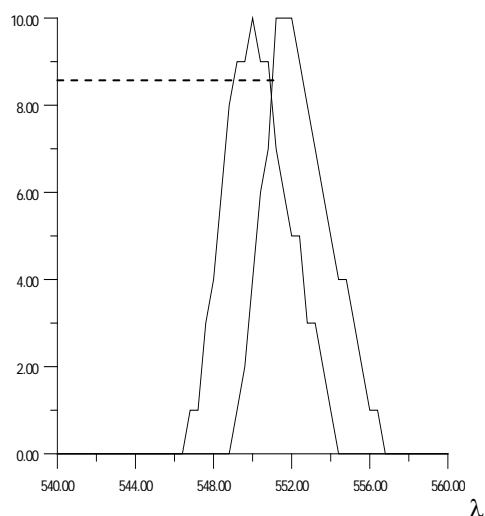
2.3.1 Широчина на спектрален канал

Широчината на спектралния канал може да бъде определена чрез получаването на т. нар. спектрална функция на отговор на прибора. Спектралната функция на отговор описва реакцията на инструмента при входно въздействие – точков източник с монохромно излъчване. В повечето случаи спектралната функция може да бъде апроксимирана с Гаусов модел или полиномиална апроксимация. Спектрална функция на отговор на прибора е измерена, използвайки подход, подобен на описания в [6]. В конкретния случай като източник на входно въздействие с тясна честотна лента е използван монохроматор, чиито светлинен поток има широчина на спектралната лента $\Delta\lambda_{in}$ ($\Delta\lambda_{in} < \Delta\lambda_{ch}$, където $\Delta\lambda_{ch}$ е широчината на спектрален канал) (фиг. 5).

Digital Numbers [DN]



Фиг. 5. Спектрална функция на отговор на видеоспектрометър за канал с централна дължина на вълната $\lambda_{01} = 550\text{nm}$. (апроксимация с полином)



Фиг. 6. Спектрални функции на отговор на видеоспектрометър за канали с централна дължина на вълните $\lambda_{01}=550\text{nm}$, $\lambda_{02}=554\text{nm}$

2.3.2 Спектрален дискретизиращ интервал

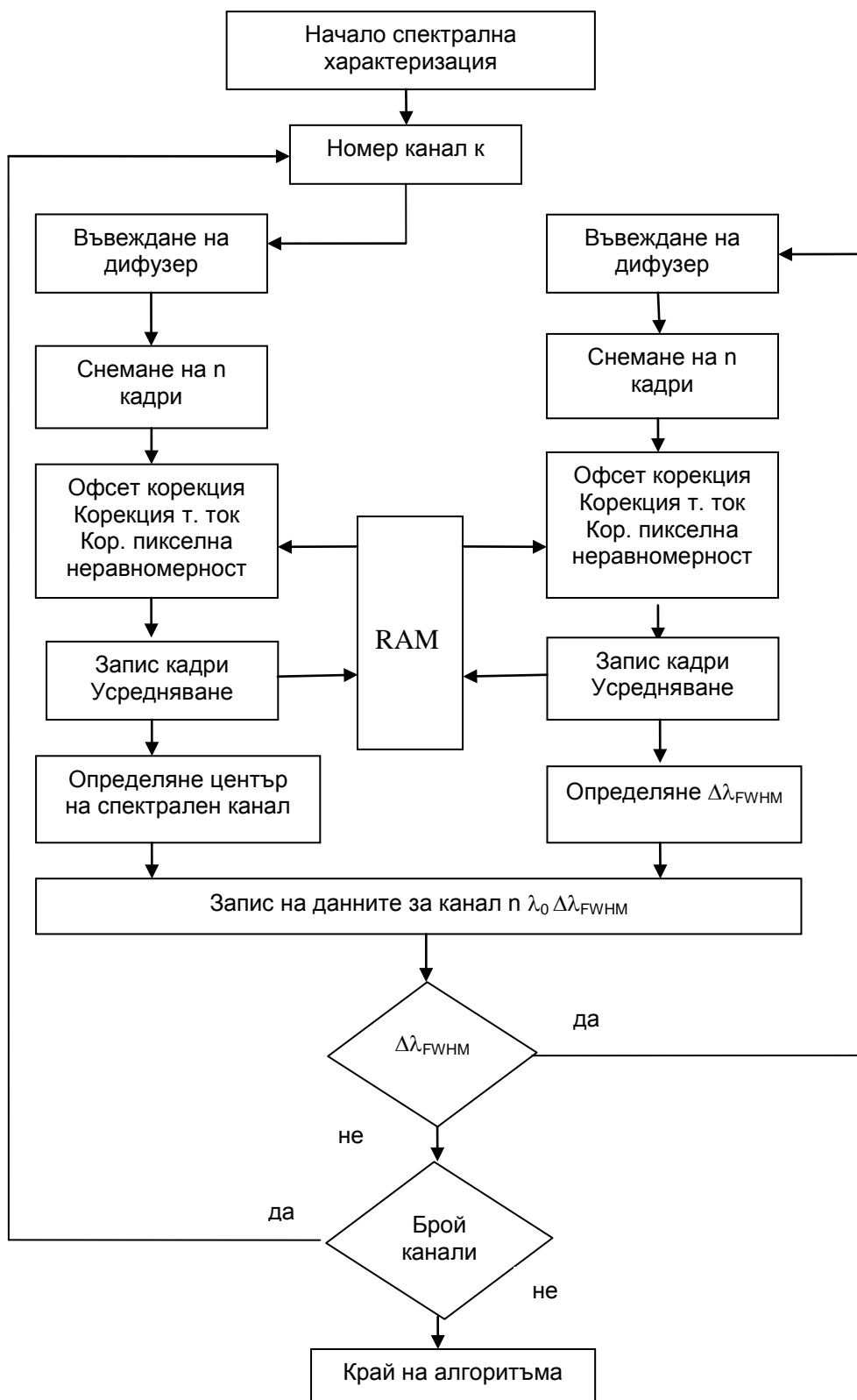
Спектралният дискретизиращ интервал се определя от разстоянието (в единици дължина на вълната) $\Delta\lambda_R$ между две съседни спектрални линии, разделени от прибора. Най-широко разпространен критерий за определяне на спектралния дискретизиращ интервал е критерия на Релей [5], според който две съседни спектрални линии с интензитет $I_{\max,1} \neq I_{\max,2}$ могат да бъдат разделени, ако намаляването на интензитета на тези линии е по-голямо от 19% ($\Delta I_{\text{decrease}} \geq 19\%$). Фиг. 6 показва измерен спектрален дискретизиращ интервал на прибора, съгласно критерия на Релей, $\Delta\lambda_R = 2\text{nm}$ [5].

2.3.3. Пикселна дисперсия

Пикселната дисперсия и спектралната разделителна способност са свързани еднозначно посредством функционалните характеристики на един спектрален прибор. При измерената широчина на спектрален канал $\Delta\lambda_{\text{FWHM}} = 4\text{nm}$ (фиг.5) покриваща 10 пиксела на матрицата, пикселната дисперсия $\Delta\lambda/\text{pixel} = \Delta\lambda_{\text{FWHM}}/10 = 4/10 = 0.4\text{nm}$ [5].

3. Алгоритъм за спектрална характеристика в лабораторни условия

Основните характеризационни процедури при спектрална характеристика на видеоспектрометрични прибори и последователността на извършването им, съгласно предложения алгоритъм, са показани на фиг. 7.



Фиг. 7. Алгоритъм за спектрална характеристация на видеоспектрометър в лабораторни условия

4. Изводи

1. Необходимо е да отбележим, че независимо от многото изброени характеризационни процедури, детерминиращи спектралните характеристики на видеоспектрометрични системи, то точното им описание е валидно само за много добре настроени системи.

2. Спектралната характеристика на видеоспектрометрите, като една от най-важните части от цялостния характеризационен процес на тези прибори, до голяма степен определя и възможностите за използване и приложение на получаваните данни от такива системи.

Литература:

1. Slater, Ph., N. Remote Sensing. Optics and Optical Systems. Addison-Wesley Publishing Company. 1980.
2. Atanassov, 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.
3. Hyperspec VNIR. Calibration Summary. Headwall Photonics. May 2013.
4. Atanassov, 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.
5. MMS Spectral Sensors. Carl Zeiss. 1997.
6. Атанасов, В., Б. Пеев, Н. Василев, В. Василев. Спектрална и пространствена разделителна способност на модел на видеоспектрометър. Седма национална конференция "Съвременни проблеми на слънчево-земните въздействия", София, ноември 2000, Сб. доклади, стр. 151-154.