

Особености на функциониране на CCD сензор в състава на видеоспектрометрична система

Д-р инж., н.с. I ст. Валентин Йонов Атанасов, инж., н.с. I ст. Бончо Бончев Пеев,
инж. Наско Найденов Василев, инж., н.с. III ст. Веселин Костадинов Василев

Централна Лаборатория по Слънчево Земи Въздействия
Българска Академия на Науките
1113 Софияр ул. "Акад. Г. Бончев", бл. 3, тел: 979 33 50

The paper presents results connected to the features of CCD sensor implementation in imaging spectrometer. Two operating modes of the sensor, standard mode and long time exposure mode are investigated. The timing diagram, illustrating CCD sensor long time exposure operating mode are shown. The experimentally determined photo-electrical characteristics of the sensor under the selected operating mode are presented and discussed.

Видеоспектрометрите са прибори, които позволяват измерване и регистрация на спектралното разпределение на радиацията от повърхността на изследвания обект като функция на тази повърхност. Те извличат спектрални данни за всеки един ред с широчина един пиксел от изображението и последователно ред по ред се изгражда целият кадър от изображението. Спектралното изображение може да се представи чрез т. нар. "спектрален куб" за всяко изображение, в който всяка равнина, перпендикулярна на спектралната ос λ представлява спектрално изображение за определена лента от дължините на вълните на електромагнитния спектър. Едно спектрално изображение не се формира изведнъж, то се изгражда в процеса на измерване.

Използването на един CCD сензор в видеоспектрометрична система и правилното му функциониране е свързано с редица особености, наложени от една страна от изброените принципи на формиране на самите спектрални изображения и от друга осъобразяване с физическите процеси на получаване на изображението протичащи в сензора. Като правило това функциониране е свързано със следните по важни условия [1,2]: ниски енергийни нива на осветеност на сензора; временно разделяне на процесите на натрупване в сензора и времето на позициониране на системата за снемане на всеки следващ ред от изображението. Това налага избор на подходящ режим на управление на сензора, различен от стандартните режими.

Оптико-електронният преобразователен елемент ICX083AL, използван в прибора, представлява матрица, изготвена по HAD (Hole-Accumulation Diode) технология (Sony). Основни параметри на CCD

матрица ICX083AL, съгласно [3]: 2/3" Super HAD CCD сензор, 752(H) x 582(V) елементи; отношение сигнал/шум - по-добро от 58 dB; висока чувствителност - 0.05 lux min осветление на сензора; електронен затвор.

В процеса на работа бяха изследвани основните режими на функциониране на сензора, стандартен режим с вътрешна синхронизация и режим на външно управление на времето на интегриране на сензора (Long Time Exposure Mode), като бяха снети основните характеристики на CCD матрицата за двата режима. Изхождайки от условията за работа на такъв сензор в състава на видеоспектрометър, беше избран като най-подходящ режим с външно управление на времето на интегриране на сензора (Long Time Exposure Mode). Режимът беше оптимизиран по отношение на изходния сигнал от сензора чрез оптимизиране на изходната верига на схемата за обработка на видеосигнала. В този режим времето за интегриране ти (= време за натрупване във фотодиодния елемент) на затвора ще бъде управлявано чрез една поредица от външни входни импулси VD. CCD матрицата започва да натрупва след входен VD импулс и спира натрупването след следващ входен VD импулс. Акумулирания видеосигнал от един кадър се извежда директно на изхода след всеки втори входен VD сигнал.

Осигуряването на второто условие за функциониране на един такъв сензор в състава на видеоспектрометрична система се осъществява чрез разделяне на времето за интегриране на изображението ти (процесите протичащи в сензора за натрупване, прехвърляне и четене на едно получавано изображение) от времето, необходимо за позициониране на прибора върху следващия ред от пространствения кадър тп.

Времедиаграмите, юлостриращи работата на CCD сензора в този режим са показани на фиг.1.



Фиг.1.Времедиаграми, юлостриращи режима на работа на CCD сензора, където: Video - изходен видеосигнал; Int VD - вътрешни кадрови синхронизиращи импулси; Fl P - флаг "позициониране"; Ext VD - управляващи импулси, определящи времето за интегриране; Wr Video - управляващи импулси за запис на изображение.

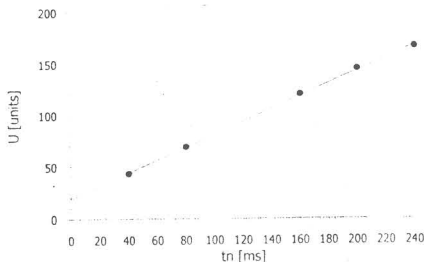
Основни характеристики и параметри на CCD матрицата

Основните фотоелектрически характеристики на CCD сензора (характеристика светлина-сигнал, спектрална характеристика), влияят съществено върху метричните характеристики на цялата система и до голяма степен ги определят. Ето защо една основна част от изследванията беше насочена към експерименталното определяне на тези характеристики.

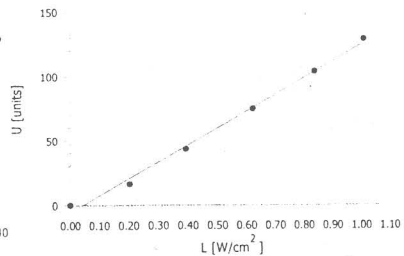
Характеристика на преобразуване светлина-сигнал

При определяне на характеристиката на преобразуване светлина-сигнал в лабораторни условия като калибриран входен източник беше използвана фотометрична сфера. Чувствителността $S_{ij}=U_{ij}/L_{ij}$, като отношение на изходния сигнал от сензора за определено входно въздействие $L_{ij}[uW/cm^2]$ се определя чрез измерване на тъмнинния ток и корекция на отместването на изходните данни U_{ij} [counts]. За определяне на S_{ij} по време на лабораторното изследване на сензора се измерва излъчването от фотометричната сфера при различни нива на осветеност. Резултантното отношение между L и U включва неравномерността на отклика на пикселите на CCD сензора и различните времена за интегриране.

Процесът на измерване се извършва за няколко периода, включващи измерване на тъмнинния ток на CCD детектора, пет нива на осветеност на фотометричната сфера, осигуряващи контролни данни U_{cij} , и се снемат данните за отклика на сензора. По този начин шестте контролни стойности (една за тъмнинно ниво и 5 светлинни нива) дават възможност за проверка на чувствителността в целия динамичен диапазон (проверка на линейността посредством метода на суперпозиция чрез различни нива на осветеност). Компенсация на тъмнинния ток може да се осъществи и от затъмнените пиксели от съответните линии на детектора по време на всеки запис на данните на сензора.



Фиг. 2. Характеристика на чувствителност на сензора за различни времена на интегриране при $L = 0.394 \cdot 10^{-4} W/cm^2 = const.$

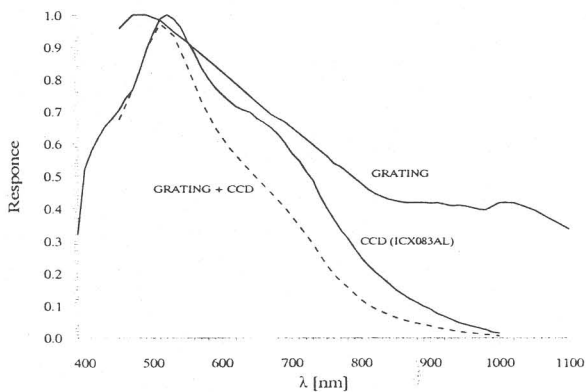


Фиг. 3. Характеристика на преобразуване светлина-сигнал при $t_i=80ms, =const.$

Резултатите от измерванията са показани на фиг. 2 и фиг.3. При първата характеристика, освен определяне на прага на чувствителност на прибора, друг важен елемент е линейността и, тъй като различните спектрални компоненти на отразената и регистрирана радиация са с различни нива на интензивност в целия работен диапазон [1]. От получените резултати може да се направи извода, че и двете характеристики се изменят по линеен закон, което от една страна е потвърждение на теоретичните основи, и от друга самите грешки при апроксимация на характеристиките с линейни уравнения са от порядъка на грешката, причинена от точността на измерването, която за използваната измервателна апаратура е под 1%.

Спектрална характеристика

Спектралната характеристика на чувствителност за CCD сензори се изразява като зависимост на генерирания и получен на изхода заряден пакет от промяната на дължината на вълната на монохроматично лъчение L . За измерване на спектралната характеристика беше използван източник с известна спектрална плътност на лъчистия поток $L(\lambda)$ - монохроматор VSU2 (KARL ZEISS). Измерва се амплитудата на напрежението на изходния сигнал U_{ij} по отношение на тъмнинния сигнал U_{ijd} .



Фиг. 4. Спектрални характеристики на чувствителност на CCD сензора, дифракционната решетка и резултантната спектрална зависимост

Експериментално снета спектрална характеристика на изследвания образец CCD матрица е показана на фиг.4. Получената спектрална зависимост съпада, в рамките на допуските на стандарта, с нормираната

такава, публикувана от фирмата производител. Тази характеристика оказва съществено влияние при формиране на общата спектрална характеристика на прибора.

Определяне на тъмнинния ток

Тъмнинният ток на сензора като основен източник на шум влияе съществено при определяне на някои от основните параметри на целия прибор - динамичен диапазон, чувствителност и др. Режимът на работа на сензора в състава на подобен прибор изисква използване на времена на натрупване от порядъка на $\times 10$ мсек до $\times 100$ мсек с цел повишаване на чувствителността и следователно като негативно проявяващо се следствие увеличаване на тъмнинния ток на сензора. За измерване на тъмнинния ток с АЦП 8 бита е използван режим на интегриране свремена на натрупване по продължителни от работните ~ 1 сек. Получените стойности за тъмнинния ток, изразяващи се като напрежение U_n на изхода на сензора, са използвани за определяне на стойностите на тъмнинния ток в работния интервал U_{id} чрез интерполация на зависимостта $U_d=f(t_i)$, имайки в предвид известността на изменение на тази функция [4]. Резултатите от измерване (U_d), интерполация (U_{id}) и изчисленото отношение сигнал/шум за съответните време на интегриране са приведени в табл. 1.

Таблица 1.

$t_i[s]$	0.4	0.8	1.2	1.6	2	3	4	8	12	16	36
$U_n [mV]$	1.2	1.2	1.2	1.54	1.54	1.54	1.54	2.22	2.56	2.9	3.59
$U_{in}[mV]$	0.875	0.875	0.875	1.2	1.2	1.2	1.54	2.22	2.56	2.9	3.59
$S/N[dB]$	58	58	58	55	55	55	53	50	48.7	47.6	45.8

От получените резултати следва, че в работния диапазон на функциониране на сензора, изискващ времена на натрупване от порядъка на $\times 10$ мсек до $\times 100$ мсек, не се регистрира забележимо нарастване на тъмнинния ток и не се очаква влошаване на ОСШ.

Заклучение

От направените експериментални изследвания на основните характеристики на избрания тип CCD сензори може да се направи извода, че тези прибори притежават в избраните режими основни характеристики, доближаващи ги до съответните характеристики на приборите за научни изследвания. Това е особено важно в случая, когато матриците са поставени да работят при ниски нива на осветеност, нисък контраст, съществуваща нужда от прецизно измерване на интензитета на светлината и висока

пространствена разделителна способност, т.е. условия на работа, присъщи за видеоспектрометричните системи.

Литература:

1. Мишев, Д. Н., Дистанционни изследвания на Земята от Космоса. Изд. БАН, София, 1981.

2. В. Атанасов, А. Крумов, В. Бойчева, А. Огородников, А. Вето - "Зависимост характеристик многоканалних спектрометрических систем от параметров применяемых в них оптико-электронных преобразователей", IV конференция с международным участием "Приборы с зарядовой связью и ПЗС-системы", РСФСР, Геленджик, сентябрь 1992 г.6

3. Sony. CCD Area Image Sensor. Data book. 1998.

4. Пресс, Ф.П. Фоточувствительные приборь с зарядовой связью. М. Радио и связь, 1991.

Работата е финансирана по договор И-603 от Национален фонд "Научни изследвания".