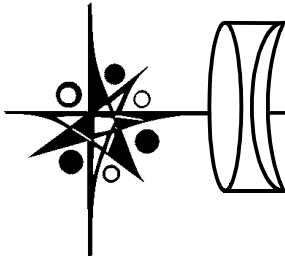


Metodika měření linearity CCD snímačů

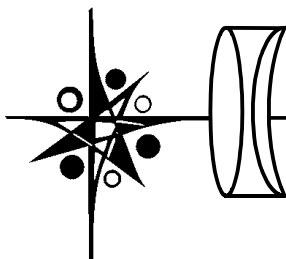
(test na plochu)



Metodika měření linearity CCD je určena pro stanovení závislosti odezvy senzorů na velikosti na detektor dopadající energie. Výslednou kalibrační křivku tak je možno využít pro korekci změřených hodnot na reálnou hodnotu. Pro vlastní vyhodnocení je součástí metodiky soubor „*LinearCCD*“ usnadňující následné vyhodnocení.

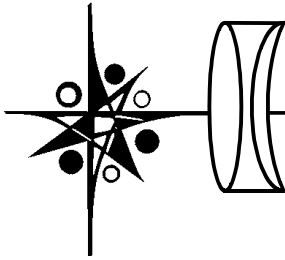
1. Příprava měření

1. Pro realizaci měření je doporučeno využít homogenní plochu bílé barvy (dále testovací plochu). Vyhovuje např. bílá stěna, popř. strop. Požadavek je, aby plocha byla co nejrovnoměrněji osvětlena. V opačném případě nelze ověřit homogenitu senzoru v různých místech chipu. Na vlastní test linearity nemají malé nehomogenity výraznější vliv. Pro účel testovací plochy lze rovněž využít flat field box, pokud umožňuje regulovat jas plochy, popř. pokud jas předmětového pole umožňuje snímkovat delší expozice (min. řádově [s]) bez dosažení saturace chipu.
2. Pro osvětlení plochy je nejvhodnější denní světlo, popř. světlo mu podobné (např. bílá LED, popř. osvětlení plochy pomocí LED displeje s bílou obrazovkou). Použití zdroje s intenzivním vyzařováním v infračervené oblasti bez použití dodatečného IRcut filtru může u barevných snímačů s Bayerovou maskou způsobit rychlejší saturaci zejména B složky a tím uměle snížit oblast linearity.
3. Úroveň osvětlení plochy volte tak, aby bylo možné ověřit i delší expozice (alespoň do 60-120s, je-li to možné i více). Maximální délku expozice je nutné volit tak, aby v žádném případě nedocházelo k saturaci i jednotlivých pixelů.
4. V případě, že je snímací zařízení vybaveno automatikou, je-li to možné vypněte ji. U digitálního fotoaparátu přepněte na manuální režim a nastavte vhodnou citlivost snímače (tj. citlivost, kterou plánujete využívat, např. 400 nebo 800 ISO). Pro ukládání zaznamenaných snímků nastavte formát bez ztrátové komprese (např. TIFF, popř. RAW či CR2).
5. Pro předpokládané expozice pořídte sérii dark (temných) snímků a korekční flat snímek.
6. Před započítím vlastního měření je nutné nechat teplotně stabilizovat CCD snímač. K tomu ponechte zapnuté zařízení při provozní teplotě min. 10-20 minut. V případě, že se teplota v místě měření výrazně odlišuje od teploty vlastního přístroje, je nutné dobu temperance patřičně prodloužit. To platí zejména u teplotně nestabilizovaných snímačů. V jejich případě je navíc doporučeno realizovat vlastní měření několikrát při různých teplotách okolí tak, aby byl pokryt rozsah teplot, při kterých je předpokládáno použití CCD kamery.



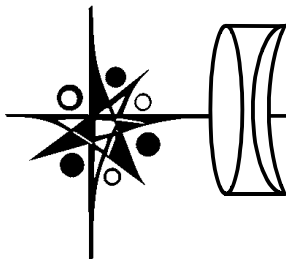
2. Postup měření

1. Připravte systém k měření. Zaostření obrazu testovací plochy na snímači není kritické. Naopak neostrost sníží vliv nehomogenit vlastní plochy. Ponechte proto obraz přiměřeně neostrý. Důležité je, aby se zaostření během měření neměnilo. Důkladně jej proto zafixujte a pokračujte až po teplotním ustálení nejen elektroniky, ale i optické soustavy.
2. Výhodné je, pokud testovací plocha zabírá celou plochu CCD snímače. V opačném případě umístěte testovací plochu poblíž středu CCD snímače.
3. Postupně exponujte testovací plochu s rostoucím časem. Inkrement protažení času mezi jednotlivými expozicemi je nutno ověřit zkusmo. V horním rozsahu měření (tj. pro delší časy), kdy odezva zpravidla dosahuje více než $\frac{1}{2}$ rozsahu lze předpokládat nárůst nelinearity. Je proto vhodné počet měření (délek časů) v tomto rozsahu alespoň zdvojnásobit. Naopak v dolním rozsahu (tj. pro kratší časy) zpravidla postačuje menší potřebný počet měření. Možné samozřejmě je exponovat jednotlivá měření s konstantním časovým inkrementem. Pak bude počet měření pravděpodobně zbytečně vysoký.
4. Maximální čas expozice je nutno volit tak, aby obraz testovací plochy byl pod úrovní saturace. Nesmí dojít k dosažení maximální hodnoty odpovídající plně saturovanému chipu! V takovém případě dochází k velmi prudkému nárůstu chyby měření.
5. Celé měření opakujte minimálně 5x. Doporučeno je alespoň 10x. Vždy realizujte jednu sadu měření s rostoucím časem a následnou sadu s časem klesajícím. Do značné míry se omezí změna podmínek během měření. Je proto nevhodné opakovaně exponovat snímek stejným časem a teprve následně prodloužit expozici.
6. V případě, že změřené hodnoty vykazují velký rozptyl (velká hodnota směrodatné odchylky) je nutné počet měření zvýšit a měření s nevyšší odchylkou od průměrné hodnoty z vyhodnocení vyloučit jako chybné.
7. V případě, že testovací plocha nezabírá celé zorné pole snímače proveďte kontrolní měření postupem uvedeným výše. Obraz testovací plochy umístěte postupně min. ve 3 krajních rozích snímače. Výsledky měření pro jednotlivé časy po následném vyhodnocení by se neměly lišit o více než o hodnotu směrodatné odchylky. V opačném případě bude nutné proměřit celý senzor po jednotlivých pixelech.



3. Vyhodnocení měření

1. V případě potřeby převed'te veškeré snímky do vhodného formátu (např. pomocí SW ImageMagic [<http://www.imagemagick.org>]). Převedení např. z formátu CR2 (14bit) na TIFF (16bit) nezpůsobí ztrátu informace. Nepoužívejte převod do formátu se ztrátovou kompresí (např. do JPG), ani s nižším rozlišením na kanál (např. 8 bit).
2. Dílčí snímky je nutno nejprve standardně zpracovat vhodným softwarem pomocí dark- a flat- snímků. Pro následné vyhodnocení lze využít Excel. Soubor „LinearCCD“.
3. Pro jednotlivá měření se odečtou hodnoty odezvy obrazu plochy ve stejném místě snímku (nejlépe v jeho středu). K odečtení lze použít vhodný SW (např. XNView, popř. JImage). Odečtete alespoň 4 sousední pixely a určete z nich průměrnou hodnotu. Vyšší počet okolních pixelů snižuje vlastní vliv šumu snímače. Výsledky se zapíší do tabulky 1 – *Measurement* (list „Data“ v Excel. souboru „LinearCCD“). Odečet opakujte pro jednotlivé snímky. Vyplňte tak modře označenou tabulku. V něm je rovněž automaticky určena průměrná hodnota (1) a směrodatná odchylka (2).
4. Nezapomeňte doplnit do této tabulky i příslušné délky expozic.
5. Graf závislosti odezvy senzoru na expozičním čase (resp. délce expozice) je vygenerován z určených hodnot v záložce „CCD response“. Krátkými svislými úsečkami je v křivce znázorněna maximální chyba měření rov. (3).
6. V tabulce 2 – *Calibration* (list „Data“ v Excel. Souboru „LinearCCD“) odpovídají předpokládané hodnoty (*Probable values*) hodnotě odezvy při lineárním chování chipu (tzn. dvojnásobnému prodloužení času by odpovídala dvojnásobná velikost odezvy). V dolním rozsahu měření (tj. pro kratší časy, resp. menší hodnoty odezvy) je následná odchylka zpravidla velmi malá. Naopak v horním rozsahu měření (tj. pro delší časy, resp. větší hodnoty odezvy) může odchylka výrazně narůstat.
7. Korekční graf odezvy senzoru v závislosti na velikosti odezvy je vygenerován z určených hodnot v záložce „Correction curve“. Krátkými svislými úsečkami je v křivce znázorněna maximální chyba určení rov. (3). Rovněž je zobrazena ideální lineární odezva detektoru.
8. Opakujte vyhodnocení podle výše uvedeného postupu i pro kontrolní měření v rozích. Výsledky zanepte do listů „Edge1“ až „Edge3“. V případě, že testovací plocha zabírá celou plochu snímku, lze využít stejné snímky jako v bodě (3.3). V opačném případě využijte příslušné snímky.
9. Výsledné hodnocení odhadu homogenity CCD čipu je následně určeno v listu „Homogeneity“. Pro jednotlivá měření je pro různá místa na chipu stanoven variační koeficient (5). Výsledný koeficient nehomogenity je určen jako průměrná hodnota (1) všech variačních koeficientů (5) v listu „Homogeneity“. Nižší hodnota koeficientu nehomogenity signalizuje menší nehomogenity v testovaných místech CCD chipu.



4. Základní vztahy pro výpočet:

Aritmetický průměr:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

Směrodatná odchylka:

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

Maximální chyba měření: $E_{\max} = 3s$ (3)

Přípustná (pravděpodobná) chyba měření: $E_p = s$ (4)

Variační koeficient: $v_x = \frac{s_x}{\bar{x}} \cdot 100 [\%]$ (5)

Pozn.:

1. V případě, že je rozdíl mezi průměrnou a změřenou hodnotou větší než trojnásobek směrodatné odchylky je měření chybné a je nutné jej opakovat.
2. V případě, že je rozdíl mezi průměrnou a změřenou hodnotou je větší než hodnota směrodatné odchylky je měření pravděpodobně zatížené vyšší chybou a je vhodné jej opakovat.
3. Čím je nižší variační koeficient, tím přesněji je soubor měření určen.
4. Pro jednoduché ovládání a základní úpravu snímků u digitálních fotoaparátů, lze využít např. freeware SW IRIS (<http://www.astrosurf.com/buil>)
5. Pro rychlé automatizované vyhodnocení výsledných snímků pak lze využít freeware SW CCDLinearity (před dokončením), který bude možné stáhnout ze stránek POSECU – <http://posec.astro.cz/download.php?sekce=5>
6. Pro manuální vyhodnocení snímků je určen excel. soubor, který je dostupný rovněž na adrese POSECU, popř. Sekce proměnných hvězd a exoplanet (<http://var.astro.cz>)