

## Metody obrazové analýzy dat

Oldřich Zmeškal, Ondřej Sedlák, Martin Nežádal  
Ústav fyzikální a spotřební chemie, Fakulta chemická, Vysoké učení technické,  
Purkyňova 118, 612 00 Brno, e-mail: zmeskal@fch.vutbr.cz

### 1. Úvod

V posledních deseti letech dochází k prudkému rozvoji zařízení sloužících k digitálnímu záznamu obrazové informace. Hlavní příčinou je vynález integrovaných obvodů umožňujících uložit obraz v digitalizované podobě prostřednictvím elektrických signálů. Princip záznamu spočívá v konverzi světelného záření dopadajícího na jednotlivé obrazové elementy (pixely) světlocitlivého senzoru na elektrický náboj. Počet lokálně generovaných elektronů přitom odpovídá intenzitě dopadajícího světelného záření.

V současné době se používají k záznamu obrazu dvě technologie, které si navzájem konkurují, a to CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductors) a CCD (Charge Coupled Devices), [1, 2]. Postupem doby si tyto technologie našly svoji oblast aplikací, pro které se používají. V obou případech lze proces záznamu obrazu rozdělit do šesti kroků, jimž odpovídají jednotlivé prvky soustavy

- vytvoření a transformace obrazu pomocí čoček, zrcadel, svazků optických vláken,
- separace barevných složek pomocí vhodných optických filtrů (např. RGB, CMY),
- zaznamenání barevných složek obrazu pomocí světlocitlivých senzorů (CCD nebo CMOS),
- generace elektrických signálů pro jednotlivé obrazové body (pixely) a barevné složky,
- transformace elektrických signálů na digitální data kvantováním na definovaný počet úrovní (A/D převodníky),
- uložení digitálních dat na paměťovém médiu (paměťové karty, magnetická páska, pevné a kompaktní disky, apod.).

Všechny uvedené kroky na jedné straně ovlivňují kvalitu digitálního záznamu obrazové informace (tj. dochází ke zkreslení způsobené vlastnostmi optické soustavy a transformačního procesu), na druhé straně však mohou výrazně přispět ke zvýraznění některých (vybraných) vlastností obrazů, které chceme analyzovat. Je třeba si uvědomit, že již v této fázi je třeba najít kompromis mezi kvalitou obrazového záznamu, rychlostí jeho pořízení (pořízení sekvence snímků) a velikostí paměťového prostoru potřebného k uložení dat.

Vlastní zpracování obrazových dat pomocí počítače může pak spočívat např.

- ve zjištění vlivu optické soustavy, konverze a digitalizace na zkreslení obrazových dat a v jejich následné korekci,
- v úpravách obrazu před vlastní analýzou (např. jeho rozklad na barevné složky, konverze do jiných barevných prostorů, filtrace apod.),
- v základní analýze obrazových dat (např. měření délek a ploch, určování histogramů barevných složek v jednotlivých barevných prostorech),
- v komplexní analýze obrazových dat (např. harmonická, waveletová, fraktální analýza).

Výsledkem obrazové analýzy dat by měly být základní informace o struktuře obrazu a jeho atributech tak, aby mohly být použity k popisu zaznamenaného fyzikálního objektu nebo děje.

### 2. Záznam obrazových dat

K záznamu obrazových dat se využívají různá zařízení podle druhu aplikace. K pořízování obrazů plošných stacionárních předloh (tisků, diapozitivů, negativů) se používají skenery, k vytváření jednotlivých snímků mikro- a makroobjektů (přímo nebo ve spojení s mikroskopy, příp. dalekohledy) digitální fotoaparáty, k záznamu sekvencí obrazů (opět ve spojení s dalšími optickými přístroji) digitální kamery. I když každá z uvedených aplikací má svá specifika (časová stálost předlohy, kvalita záznamu, rychlost záznamu) lze najít jejich společný jmenovatel, tj. záznamový prvek (CCD nebo CMOS senzor).

#### 1.1. Vytvoření a transformace obrazu

Ve většině zařízeních určených k digitálnímu záznamu obrazu dopadá světlo na záznamový prvek prostřednictvím optických systémů složených z čoček, zrcadel nebo jiných optických prvků. Jejich

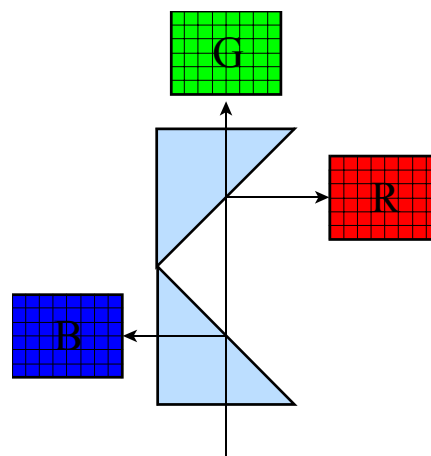
cílem je zvětšení nebo zmenšení obrazu, separace barevných složek obrazu, konverze do oblasti vlnových délek viditelného spektra nebo zesílení optického signálu.

V mnoha aplikacích je výhodné použít optické prvky vyrobené z optických vláken. Zobrazovací vláknová optika je běžně využívána k záznamu obrazu z rentgenových nebo neutronových scintilačních obrazovek, chemoluminiscenčních zdrojů, obrazových zesilovačů nebo zářičů.

### 1.2. Separace barevných složek

K separaci barevných složek obrazu se zpravidla používají speciální optické filtry se spektrálními charakteristikami odpovídajícími charakteristikám lidského oka, polopropustná zrcadla nebo hranoly.

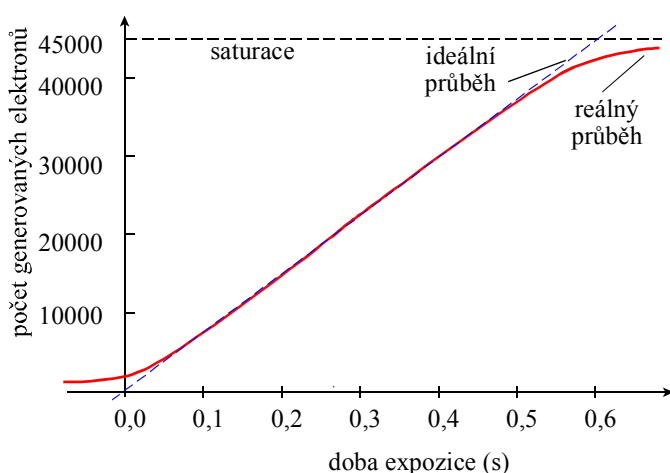
Z hlediska vlastní realizace zařízení pro záznam obrazu mohou být některé prvky sloučeny. Tak např. u profesionálních záznamových zařízení se provádí barevné separace (např. do složek RGB) pomocí polopropustných zrcadel nebo hranolů a záznam obrazu se provádí pomocí tří oddělených „jednobarevných“ světlocitlivých senzorů (obr. 1). Při tomto uspořádání jsou všechny tři barevné složky snímány současně, takže se dosahuje jak vynikající kvality záznamu obrazu, ostrosti, barevného souběhu obrazu tak i vysoké záznamové rychlosti. Druhým způsobem, při kterém lze dosáhnout značné kvality záznamu, je využití vícevrstvého záznamového média (technologie X3). Jednodušší metody jsou založeny buď na časovém nebo prostorovém multiplexu. Poslední způsob, který je nejvíce rozšířen, je využíván v komerčně vyráběných zařízeních (např. běžné digitální fotoaparáty a kamery).



Obr. 1 Princip záznamu obrazu pomocí tří světlocitlivých senzorů

### 1.3. Zaznamenání barevných složek obrazu

Dopadající světelné záření způsobuje u všech jmenovaných principů lokální generaci elektrického náboje (pár elektron/díra) v místech obrazových bodů. Maximální množství náboje které je možno v daném místě vygenerovat definuje veličina nazvaná „plnicí kapacita“ (Full Well Capacity), obr. 2.



Obr. 2 Závislost vygenerovaného elektrického náboje na

Sensitivity Mode) je nastaven tak, aby rozsah A/D převodníku odpovídal čtvrtině elektronů v pixelech. Tento mód je určen pro záznam obrazů podsvětlených aplikací s pomalými změnami intenzity světla.

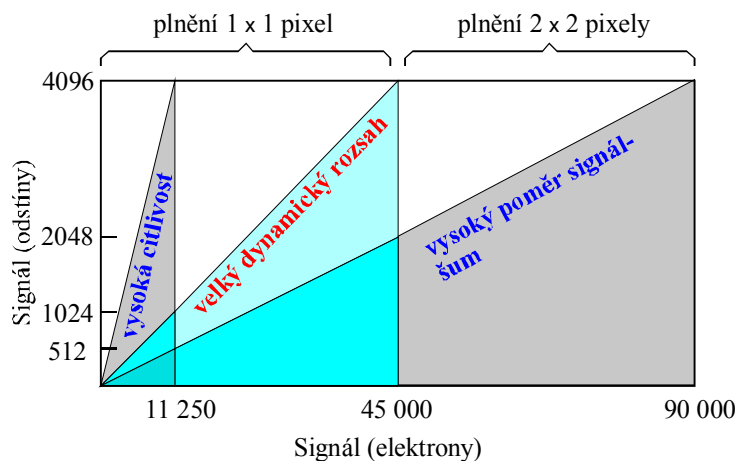
Pro nízké koncentrace nábojů je závislost mezi dopadajícím světelným zářením a množstvím vygenerovaného náboje lineární, pro vyšší koncentrace dochází k saturaci, což vede k přetečení náboje do sousedních pixelů způsobenému přexponováním (tzv. blooming). Plnicí kapacita souvisí tedy s velikostí pixelů a určuje tzv. *dynamický rozsah* (resp. amplitudu odpovídajícího analogového signálu). Udává se počtem elektronů, které mohou být v pixelu zachyceny. Pro pixel o velikosti  $6,8 \times 6,8 \mu\text{m}$  je to přibližně 45 000 elektronů.

Obrazové senzory jsou konstruovány tak, aby je bylo možno provozovat v některém z následujících módů:

– **Mód s vysokou citlivostí** (High

- **Mód s velkým dynamickým rozsahem** (High Dynamic Range Mode) je nastaven tak, aby rozsah A/D převodníku odpovídal plné kapacitě pixelů. Tento mód umožňuje záznam obrazů vyznačujících se velkými dynamickými změnami. Pro velké expozice může docházet ke zkreslení obrazu způsobené přetečením pixelů (blooming).
- **Mód s vysokým poměrem signál – šum** (High Signal to Noise Ratio Mode) slouží k nastavení vyšší úrovně aktivního signálu vzhledem k teplotnímu šumu. Lze toho dosáhnout zvýšením plnicí kapacity sloučením nábojů ze sousedních pixelů (vytvářením tzv. superpixelů, tj. matic  $2 \times 2$ ,  $3 \times 3$  původních pixelů). Čím větší bude plnicí kapacita, tím lepší bude i poměr signál šum. Proces slučování pixelů do superpixelu se nazývá plnění (binning) a snižuje plošné rozlišení senzoru (jeho rozlišovací schopnost).

Na obr. 3 je vynesena závislost výstupního signálu 12 bitového A/D převodníku (odpovídajícího rozlišeným odstínům záznamovaného obrazu) na plnicí kapacitě senzoru (počtu fotoelektronů jednotlivých pixelů, resp. superpixelů) pro možné pracovní módy typického CCD senzoru.

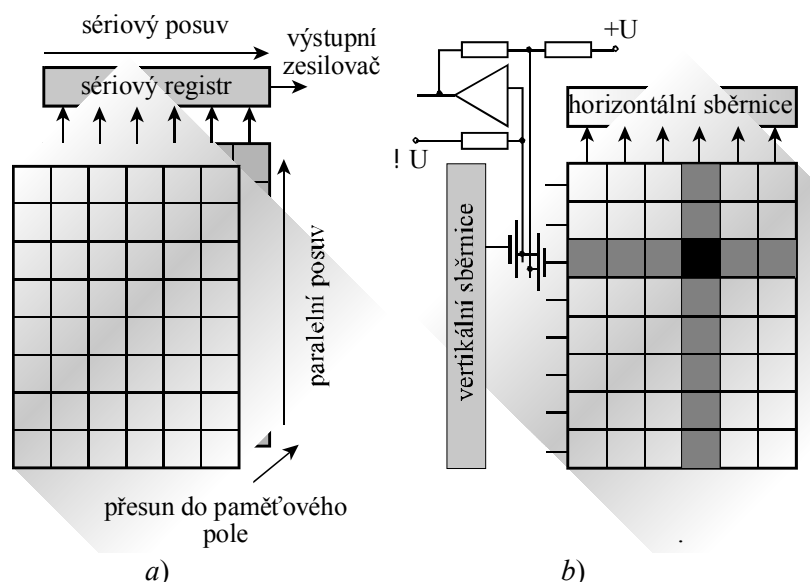


Obr. 3. Plnicí kapacita v různých módech záznamu obrazu [3]

#### 1.4. Přenos elektrického náboje

Po expozici jednotlivých pixelů obrazového senzoru dochází k transportu generovaného elektrického náboje strukturou do A/D převodníku, kde dochází k digitalizaci odpovídajícího elektrického signálu. Používají se čtyři odlišné principy: s mechanickou závěrkou (Full Frame CCD), s mezerádkovým přenosem náboje (Interline-Transfer CCD), s přenosem snímků (Frame - Transfer CCD) a s přímou adresací pixelů (Charge Injection Devices – CID). V následující části jsou stručně popsány ty principy, které jsou z hlediska rychlosti přenosu dat vhodné jako vstup pro obrazovou analýzu.

**Systémy s přenosem snímků** (plošný sken, obr. 4a) mají oddělené obrazové a paměťové pole.



Obr. 4 Systém a) s přenosem snímků, b) s přímou adresací pixelů

Zaznamenaný latentní obraz je nejprve přesunut z obrazového do paměťového pole a během další expozice obrazového pole rychle přesunut ( $\sim 300 \mu\text{s}$ ) k okraji senzoru, kde je digitalizován. Paměťové pole má obvykle stejnou velikost jako obrazové pole a je odděleno neprůhlednou maskou jako štít

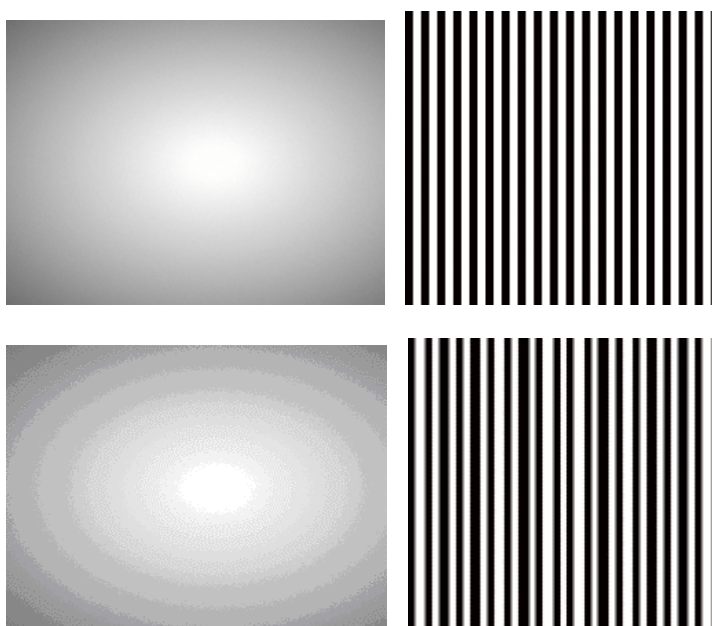
proti osvětlení pixelů. Tento typ CCD umožňuje přenášet obraz spojitě bez závěrky a to vysokou přenosovou rychlostí.

**Systémy s přímou adresací pixelů** (obr. 4b) umožňují přímý přístup k jednotlivým pixelům senzoru. Elektrický náboj je generován v pixelech sestávajících ze dvou kolmých elektrod (MOS tranzistorů), které slouží k uložení i přenosu fotogenerovaného náboje. Tento princip, využívaný jak v CCD, tak i v CMOS senzorech, umožňuje destruktivní (elektrický náboj je injektován do kontaktu) nebo nedestruktivní (náboj zůstává v pixelu a je možné provádět další expozici) čtení obrazu.

### 1.5. Digitalizace signálu

Vlastní digitalizace signálu se provádí pomocí A/D převodníku (Analog Digital Unit – ADU). Počet kvantovacích úrovní digitalizovaného signálu určuje tzv. barevnou hloubku zaznamenaného obrazu, ze které vyplývá počet různých barev, které lze na obrázku rozlišit. Nejčastěji se provádí záznam obrazů ve 24 bitové nebo 36 bitové barevné hloubce rozkladem do RGB složek (na každý barevný kanál RGB připadá 8 bitů, resp. 12 bitů), pomocí které lze rozlišit až 16,7 milionů (68,7 miliard) barev. Při kvantování dochází k nahrazení spojitého barevného přechodu skokovou měnou barev (viz obr. 5a). Ta je pak vnímána jako nová informace v obraze, která může ovlivnit výsledky obrazové analýzy. Tuto chybu lze eliminovat zvětšením barevné hloubky, adaptivním výběrem nebo nerovnoměrným kvantováním odstínů barev.

Při digitalizaci je úroveň signálu úměrná množství elektrického náboje soustředěného v jednotlivých obrazových bodech (pixelech), které mají konečnou velikost. Z této skutečnosti vyplývá, že pomocí matice pixelů nelze zobrazit větší detaily (vyšší prostorové frekvence) než je poloviční vzdálenost pixelů (dvojnásobek prostorové frekvence). Podmínka  $f_s > 2f_{max}$  se nazývá Shannonův vzorkovací teorém. V opačném případě dochází k chybné interpretaci zaznamenané struktury, vznikne tzv. aliasing (obr. 5b).



Obr. 5 a) Chyba kvantování, b) chyba vzorkování [4]

### 1.6. Archivace digitálních dat

Digitalizovaná data jsou ukládána na paměťových médiích vlastních zařízení (např. magnetické pásky, paměti typu flash) odkud jsou prostřednictvím sběrnice přesouvána do osobního počítače k dalšímu zpracování. Stacionární zařízení (skenery, digitální fotoaparáty a kamery na mikroskopu) mohou být připojena k počítači přímo a data mohou být ukládána na jeho interní paměťová média (pevné disky a odtud např. na CD nebo DVD).

Z hlediska potřeb obrazové analýzy je třeba zaznamenat obraz v co nejvyšší kvalitě, z čehož vyplývá ukládání velkého objemu dat. Např. obraz o velikosti  $3000 \times 2000$  pixelů ve 24 bitové hloubce má velikost přibližně 18 MB. Proto není vhodné používat standardní formáty (např. BMP), které jsou náročné jak z hlediska kapacity paměťových médií, tak i rychlosti přenosu dat. Mnohem vhodnější je formát TIFF, který umožňuje ukládat data v komprimované podobě (využívá bezztrátovou kompresi LZW) a není tedy náročný na velikost paměťových médií a na rychlost přenosu. Další formát využívaný pro ukládání statických obrazů je formát JPEG. Lze u něj volit míru komprese, proto může zaujímat v porovnání s formátem BMP mnohem menší objem, ovšem na úkor kvality komprimovaného obrazu, neboť využívá ztrátové kompresní algoritmy. Pro obrazovou analýzu je proto nevhodný.

Při ukládání animovaných sekvencí se nejčastěji využívají formáty AVI a MPEG, které mohou využívat tzv. **delta kompresi**, kdy se pro dosažení většího kompresního poměru ukládají diferenční obrázky. Pokud je rozdílový obrázek větší než obrázek původní, ukládá se nekomprimovaný snímek.

První z formátů využívá bezztrátovou kompresi, proto je opět vhodný pro potřeby obrazové analýzy, druhý využívá metody ztrátové komprese jak pro obraz, tak i pro zvuk, a proto je jeho využití v obrazové analýze méně vhodné.

Seznam uvedených formátů jak pro statické obrázky, tak i pro sekvence není vyčerpávající.

### 3. Analýza obrazových dat

#### 3.1. Korekce vlivu optické soustavy

Možné uspořádání pracoviště pro záznam obrazu je znázorněno na obr. 6. Skládá se z optického mikroskopu a digitálního fotoaparátu NIKON Coolpix 990. Ten umožňuje snímat obrázky ve formátu TIFF nebo JPEG s rozlišením až  $2048 \times 1536$  pixelů. Barevná informace je uložena ve tvaru RGB, 8 bitů pro každý kanál ( $R, G, B$ ).

Nevýhodou použité optické soustavy je nerovnoměrné osvětlení vzorku. Vzorek je ve středu zorného pole osvětlen více než při okrajích. Tento jev by při zpracování obrázků působil rušivě, proto je třeba tuto nehomogenitu osvětlení vhodným způsobem odstranit.

Nepříjemnou vlastností digitálního fotoaparátu je jeho nelineární přenos jasů. To znamená, že posloupnost hodnot jasu obrazu na vstupu neodpovídá posloupnosti hodnot signálu na výstupu. Proto je nutné provést tzv. *gamma korekci*, která upraví přenos jasů na lineární.

Pro delší expozice je zaznamenaný obraz také zkreslen tzv. teplotním šumem), který je produkován obrazovým senzorem.

**Nehomogenita osvětlení** (viz obr. 5a), tj. ztráta

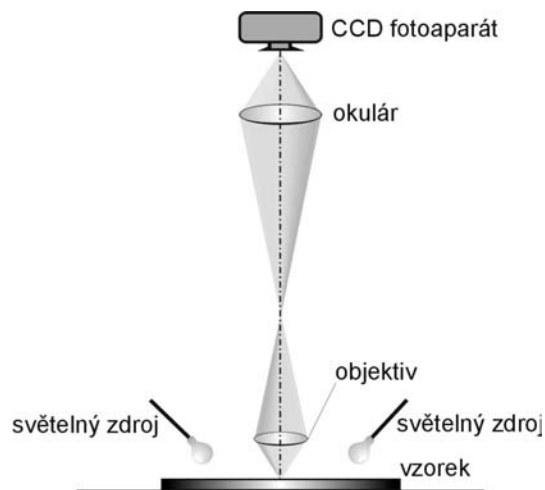
světelnosti snímaného obrazu mimo osu optické soustavy, je způsobena nedokonalostí optických prvků (především objektivu a okuláru). Digitální záznam obrazu nehomogenního osvětlení lze provést např. tak, že se zaznamená obraz zcela bílého papíru. Ten se následně Gaussovsky rozostří, čímž se eliminuje povrchová struktura papíru. Dále se určí průměrné hodnoty všech tří barevných kanálů obrazu tohoto rozostřeného nehomogenně osvětleného papíru ( $R_{AVG}$ ,  $G_{AVG}$  a  $B_{AVG}$ ).

Vlastní korekce pak spočívá v provedení úpravy obrazu podílem jednotlivých hodnot pixelů příslušných barevných kanálů obrazu a hodnot pixelů barevných kanálů obrazu rozostřeného papíru násobených střední hodnotou barvových složek jednotlivých kanálů.

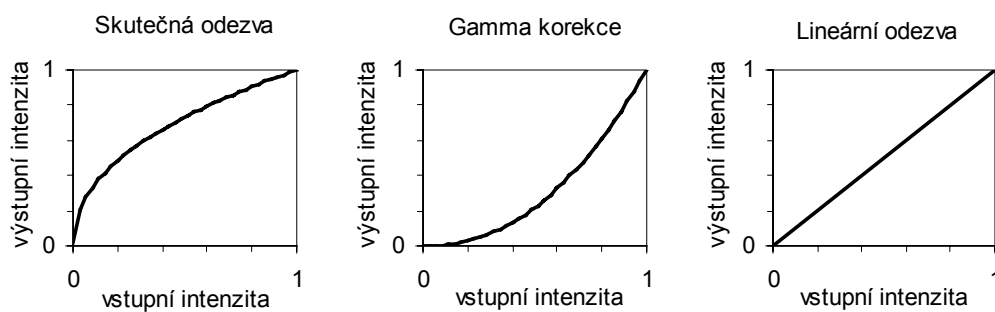
**Gamma korekce** je číslo vyjadřující vztah mezi hodnotami signálu na vstupu a hodnotami na výstupu optické soustavy. Když je hodnota gamma korekce rovna jedné, chová se systém lineárně – intenzita výstupu zařízení je přímo úměrná intenzitě vstupu. Digitální fotoaparáty mají ovšem gammu záměrně upravenou na nižší hodnotu. Důvodem je skutečnost, že fotografie z digitálních fotoaparátů jsou určeny především k zobrazení na monitorech, které mají naopak gammu vyšší (obr. 7). Závislost intenzity výstupního signálu na vstupním je dána vztahem  $Y = k(I_{RGB}/255)^\gamma + Y_0$ .

Aby mohly být získané obrázky objektivně vyhodnoceny, musí se tedy nejprve provést jejich gamma korekce pomocí vztahu  $I'_{RGB} = 255((Y - Y_0)/k)^{1/\gamma}$ . Zjištění hodnoty gamma korekce fotoaparátu lze provést ze závislosti výstupní "reflektance" určené z intenzit digitálních obrázků šedého densitometrického klínu na reflektanci určené z měření pomocí densitometru [5].

Korekce intenzity obrazu nebo jeho složek je možné z důvodů zvýraznění některých efektů zavádět záměrně. Proto jsou v některých programech určených k obrazové analýze kromě mocninné gamma korekce zaváděny i jiné (např. lineární, logaritmická, exponenciální).



Obr. 6 Schéma měřicí aparatury [5]



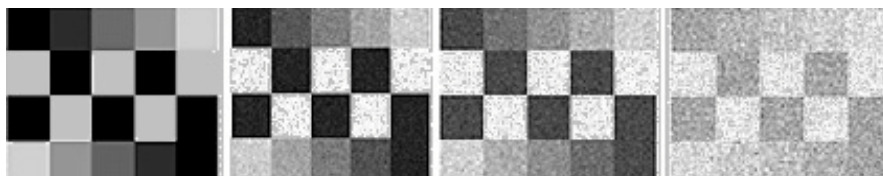
Obr. 7 Znáornění procesu gamma korekce [5]

**Teplotní šum** (obr. 8) vzniká jednak jako důsledek šumu temnotního proudu, ale také při transportu elektrického náboje z pixelů senzoru.

*Temnotní šum* (Dark Noise,  $DN$ ) je způsobem tepelnými kmity krystalické mřížky senzoru. Je závislý na teplotě senzoru (má Poissonovo rozložení) a na době expozice. Ovlivňuje hodnotu aktivního signálu. Uvádí se jako počet elektronů generovaných v pixelu za dobu expozice (např. 1 elektron/pixel při expozici 2s). Teplotní šum lze snížit chlazením kapalným chladicím médiem (např. glycerol/voda, metanol/voda), prouděním vzduchu (ventilátory) nebo termoelektricky (Peltierův jev).

*Čtecí šum* (Reading Noise,  $RN$ ) vzniká vlivem fluktuací způsobených při čtení dat (při generaci páru elektron/díra a při přenosu dat senzorem). Je závislý na teplotě (má opět Poissonovo rozložení) a na frekvenci čtení dat, nezávisí na době expozice. Uvádí se jako počet elektronů generovaných v pixelu při určité čtecí frekvenci (např. 13 elektronů/pixel pro frekvenci čtení dat 1 MHz).

*Celkový šum* (Total Noise,  $TN = \sqrt{RN^2 + DN^2}$ ) je pro krátké expoziční časy ovlivněn především čtecím šumem, pro dlouhé expoziční časy je dominantní temnotní šum



Obr. 8 Teplotní šum [3]

## 1.2. Úpravy obrazu před vlastní analýzou

**Rozklad na barevné složky** umožňuje provádět separace jednotlivých barevných složek v různých barevných prostorech (např. RGB, HSB, HLS)

### Odstíny šedé

Obrázky jsou v souboru zpravidla uloženy pomocí RGB složek. Při zpracování dat ve 24-bitové barevné hloubce lze tedy maskovat více než 16,7 milionů barevných odstínů. K interpretaci výsledků však mnohdy postačuje podstatně menší počet údajů.

Toho lze dosáhnout např. převodem barevných obrázků na šedou škálu. Tento převod se s ohledem na citlivost lidského oka (nejcitlivější je na zelenou) provádí podle vztahu  $I = 0,299 R + 0,587 G + 0,114 B$ . Tímto způsobem se sníží barevná hloubka na 8 bitů (ve všech třech barevných kanálech je stejný odstín barvy) a počet maskovaných barev bude 256, viz obr. 9a

### Rozklad na RGB složky

Barvový prostor RGB je trojdimenzionální barvový prostor, jehož základními komponentami jsou červená ( $R$ ), zelená ( $G$ ) a modrá ( $B$ ) barva. Aditivním mícháním těchto tří primárních barev může vzniknout jakákoliv jiná barva. Prostor RGB si lze představit jako jednotkovou krychli v jejichž vrcholech jsou černá ( $K$ ), bílá ( $W$ ), červená ( $R$ ), zelená ( $G$ ), modrá ( $B$ ), azurová ( $C$ ), purpurová ( $M$ ) a žlutá ( $Y$ ) barva (obr. 9b nahoře). Na tomto barvovém prostoru je založeno zobrazování barev téměř všech elektronických zobrazovacích systémů.

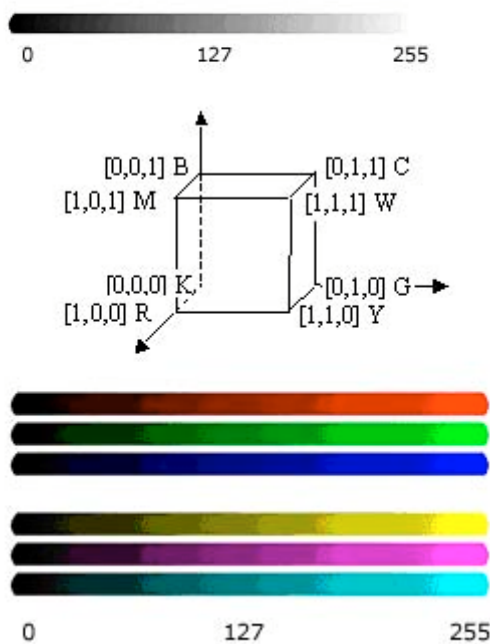
Z barvového prostoru RGB lze odvodit doplňkový barvový prostor CMY, odečtením složek od bílé barvy. Složky barvového prostoru CMY jsou zobrazeny na obr. 9b dole.

### Rozklad na HSB složky

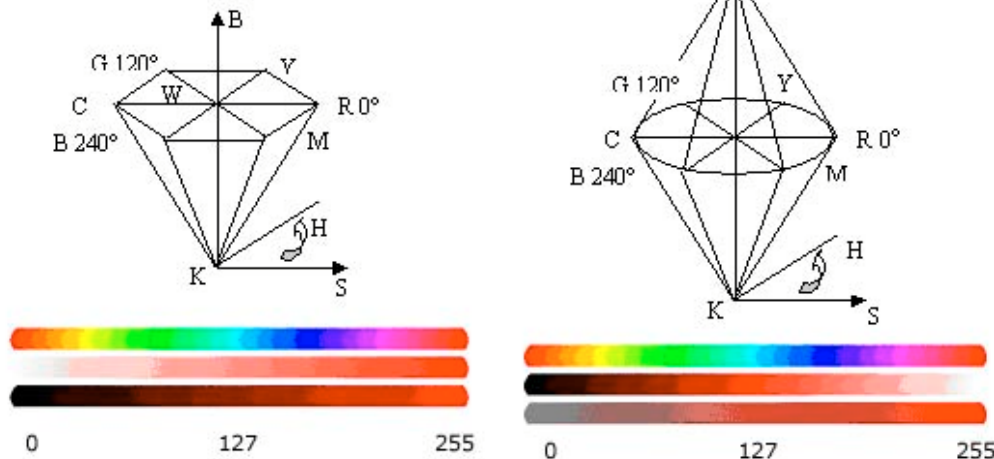
Barvový prostor HSB je odvozen od barvového prostoru RGB. Jeho základními komponentami jsou hue ( $H$ ), saturation ( $S$ ) and brightness ( $B$ ). Barevný tón označuje převládající spektrální barvu, sytost určuje příměsí jiných barev a jasová hodnota množství bílého světla. Tento prostor má tvar šestibokého jehlanu, jehož vrchol má černou barvu ( $K$ ). Jasová hodnota roste směrem k podstavě, střed podstavy tvoří bílá barva. Sytost je dána vzdáleností bodu od osy jehlanu. Dominantní barvy leží na plášti jehlanu, čisté barvy jsou u obvodu podstavy. V literatuře [6] se tento prostor často označuje jako HSV ( $V$  - value). Složky barvového prostoru HSB jsou zobrazeny na obr. 10a.

### Rozklad na HLS složky

Barvový prostor HLS je opět odvozen od barvového prostoru RGB. Jeho základními komponentami jsou hue ( $H$ ), lightness ( $L$ ) and saturation ( $S$ ). Má tvar dvou kuželů obrácených podstavami k sobě. Barevný tón je vyjádřen úhlovou hodnotou ( $0 - 360^\circ$ ), světlost se mění od nuly (black, dolní vrchol) do jedné (white, horní vrchol). Sytost nabývá na povrchu kuželu hodnoty jedna a klesá na nulu směrem k ose kuželů. Nejjasnější čisté barvy leží na obvodu podstav kuželů. Tvar prostoru HLS plně odpovídá skutečnosti, že nejvíce různých barev vnímáme při průměrném osvětlení (oblast podstav). Schopnost rozlišit barvy klesá jak při velkém ztmavení, tak při přesvětlení. Složky barvového prostoru HLS jsou zobrazeny na obr. 10b.



Obr. 9 Barvový prostor a) odstínů šedé, b) RGB



Obr. 10 Barvový prostor a) HSB, b) HLS

Existují i jiné barvové prostory, které obsahují celou škálu barev (CIE-XYZ, CIE-xyY), resp. zahrnují optické vlastnosti standardního pozorovatele ( $L^*u^*v^*$ ,  $L^*a^*b^*$ ), ale ty jsou z hlediska objektivního hodnocení obrazových struktur nevhodné, resp. je není možné v celé šíři zaznamenat.

### Bitové operace

Většina programů zabývajících se obrazovou analýzou dat umožňuje provádět tzv. bitové operace. Jedná se o jednoduché aritmetické, logické a podmíněné operace mezi barevnými složkami jednotlivých pixelů obrazu.

*Algebraické operace* mohou sloužit např. ke zjišťování rozdílů mezi obrázky (nebo jejich složkami), k odstranění nebo zavedení šumů, (operátory  $+$ ,  $-$ ), k odstranění nehomogenity osvětlení nebo ke zvýšení/snížení kvantovacího kroku (operátory  $*$ ,  $/$ ).

*Logické operace* (and, or, xor) lze použít např. k maskování barevných složek RGB nebo jejich odstínů.

*Podmíněné operace* lze s výhodou využít k prahování složek barevného obrázku (minimum, maximum, difference), tj. k výběru tmavých, světlých odstínů barev, resp. pásma barev.

Bitové operace mohou být realizovány mezi jednotlivými obrázky (podmínkou je jejich stejná velikost) nebo mezi obrázkem a zadanou konstantou.

### Filtry

Filtrace spočívá v modifikaci obsahu pixelu (jeho barevné informace) s ohledem na nejbližší okolí. Výsledkem je nový změněný obrázek. Úprava se nejčastěji provádí pomocí čtvercové matice, tzv. **filtrační matice**. Výsledek operace se zapisuje do místa, kde se nachází střed matice. Nejjednodušší filtrace spočívá v násobení prvků filtrační matice s prvky nejbližšího okolí upravovaného pixelu. Tato operace se nazývá **diskrétní konvoluce** a filtr, který ji provádí konvoluční filtr (viz obr. 11).

V praxi se používají různé typy filtrů, např. vyhlazovací, hranové, derivační, integračně derivační apod.

39	33	35	36	31
35	34	36	33	34
34	33	<b>36</b>	34	32
32	36	35	36	35
33	31	34	31	32

$$\otimes \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 2 & 1 \\ \hline 2 & 4 & 2 \\ \hline 1 & 2 & 1 \\ \hline \end{array} = \begin{Bmatrix} 1 \cdot 34 & 2 \cdot 36 & 1 \cdot 33 \\ 2 \cdot 33 & 4 \cdot 36 & 2 \cdot 34 \\ 1 \cdot 36 & 2 \cdot 35 & 1 \cdot 36 \end{Bmatrix} = \{139 + 278 + 142\} = 559$$

Obr. 11 Princip konvolučního filtru

*Vyhlazovací filtry* jsou určeny ke zjemnění hran analyzovaných struktur. Používají se např. binomiální, box, mediánové, Kuwahara filtry, které využívají k vyhlazení odlišné algoritmy.

*Hranové filtry* jsou určeny k vyhledávání hran v obraze. Většina z nich je izotropní, tj. že vyhledávají hrany nezávisle na jejich orientaci. Mezi hranové filtry patří např. gradientní, Laplaceovy či Sobelovy filtry.

*Derivační Filtry* umožňují vyhledávání diskontinuit v obraze. Mohou být aplikovány zleva doprava, zprava doleva či oběma směry a to jak ve svislém, tak i horizontálním směru.

*Integračně derivační filtry* (např. Sobelovy) výrazné hrany zdůrazňují, jemné naopak potlačují. Lze je proto využít např. k odstranění šumů a současně ke zvýraznění hran.

### 1.3. Základní analýza obrazových dat

Základní analýza obrázku spočívá v měření délek a ploch studovaných objektů na obrázku a určování histogramů v jednotlivých barevných prostorech. Výběr detailů je možné provádět ručně (např. označením nebo ohrazením pomocí myši), ke zvýraznění sledovaných objektů lze použít barevné separace do různých barevných prostorů, bitové operace s jednotlivými pixely obrázku nebo různé metody filtrace. Někdy je vhodné aplikovat na obrázek před vlastní analýzou i více definovaných úprav.



Při rutinním zpracování je možné posloupnost jednotlivých úprav naprogramovat a provádět je autonomně. Také vlastní měření je možné provádět ručně nebo autonomně na základě algoritmů umožňujících registrovat spojité oblasti stejných barevných odstínů. Tyto programy mohou být pak použity k měření délek, vzdáleností, úhlů, trajektorií, k měření velikosti a počtu ohraničených ploch, příp. jejich plošné distribuce.

Do této oblasti použití patří také zjišťování histogramů barev obrázků, resp. barevného profilu barvových složek v definovaném směru.

#### 1.4. Komplexní analýza obrazových dat

Výhoda komplexní analýzy obrazových dat spočívá především v tom, že nepracuje s jednotlivými pixely (složek) obrázků, ale s celým obrázkem najednou. Hodnotí obrázek jako celek z pohledu opakujících se motivů, jejich zmenšených, příp. pootočených kopií. Je založena na lineární (integrální) transformaci obrazu, kterému přiřazuje pomocí definované báze jiný obraz, ve kterém jednotlivé pixely odrážejí různé vlastnosti (definované bázi) celého původního obrázku. Pokud je transformace ortogonální, lze pomocí inverzní báze získat lineární (integrální) transformaci původní data.

Důvody pro použití lineárních ortogonálních transformací spočívají v jednodušší analýze spekter, v jednodušší provádění některých operací (např. konvoluce), k snadnějšímu vyloučení redundantních složek, ke zvýšení odolnosti při přenosu dat.

Bitovými operacemi takto získaného obrazu lze pak např. odfiltrovat šum (vysoké frekvence) nebo naopak základní motiv obrazu (nízké frekvence), čímž lze snížit množství dat popisujících daný obraz. Na tomto principu jsou založeny ztrátové komprese dat.

Význačnou roli hrají v komplexní analýze obrazu transformace pomocí diskretních periodických funkcí (např. Fourierova transformace, kosinová nebo Walsh - Hadamardova transformace) nebo pomocí prostorově omezených funkcí, tzv. **waveletů** (např. Haarova transformace nebo transformace využívaná při fraktální analýze metodou box counting). Z obrazů koeficientů těchto transformací lze získat charakteristické údaje o analyzované struktuře.

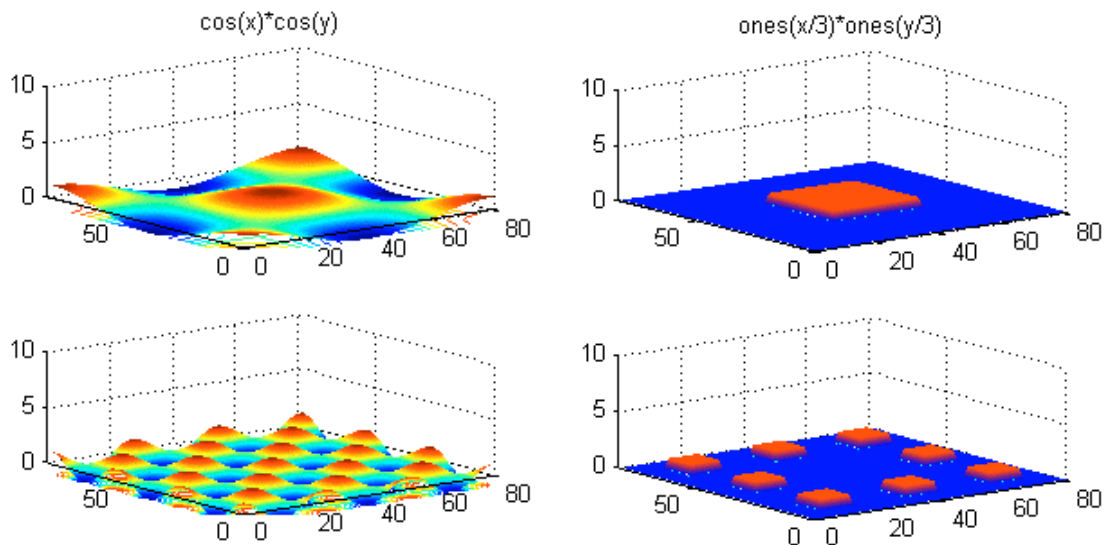
#### Periodické transformace

*Diskretní Fourierova transformace* je lineární ortogonální transformace v oboru komplexních čísel. Její bázi tvoří harmonická funkce  $f(\omega_x, \omega_y) = e^{j(\omega_x x + \omega_y y)}$ , kde  $\omega_x, \omega_y$  jsou tzv. prostorové frekvence. Při obrazové analýze se často používá její modifikace pro obor reálných čísel, tzv. *kosinová transformace* jejíž bázi tvoří funkce  $f(\omega_x, \omega_y) = \cos(\omega_x x) \cdot \cos(\omega_y y)$ , viz *obr. 12a*. Fourierova (kosinová) transformace je založena na opakování zmenšené harmonické funkce (tzv. vyšší harmonické), její nevýhoda spočívá v tom, že pro obecná obrazová data (vyznačující se ostrými barevnými změnami) velmi pomalu konverguje, takže snížení množství obrazových dat (např. při kompresi) nemusí být výrazné. *Walsh - Hadamardova transformace* [7] je založena na opakování diskretních Walshových funkcí, které nabývají hodnot +1, -1. Vyšší Walshovy funkce se získají z nižších změnou měřítka.

#### Waveletové transformace

*Haarova transformace* [7] vychází ze systému ortogonálních Haarových funkcí, které nabývají hodnot +1, 0, -1 násobených mocninou čísla  $2^{i/2}$ , kde  $i = 0, 1, 2, \dots$ . První dvě Haarovy funkce jsou totožné s Walshovými, vyšší Haarovy funkce se získají z nižších (tj. předcházejících) změnou měřítka a posuvem. *Transformace využívaná při fraktální analýze* nabývá opět násobků hodnot +1, 0, -1. Z jejich koeficientů lze pro černobílé obrázky jednoduše určit počty černých  $N_B$ , částečně černých  $N_{BW}$  a bílých  $N_W$  čtverců pro různé velikosti sítě ( $1 \times 1, 2 \times 2, 3 \times 3, \dots$  pixelů). Z jejich mocninné závislosti na velikosti měřítka lze potom určit základní parametry struktury, tzv. **fraktální dimenzi**  $D$  a **fraktální míru**  $K$  černé a bílé plochy a jejich rozhraní. Pro rozhraní např. platí  $N_{BW} = K_{BW} e^{-D_{BW}}$ . Tyto parametry mohou být využity k hodnocení uspořádanosti obrázků, ale také např. ke zjišťování počtu definovaných objektů bez toho aniž by je bylo nutno počítat.

Příklad waveletové transformace je znázorněn na *obr. 12b*.



Obr. 12 Příklad a) harmonických funkcí kosinové transformace, b) funkcí waveletové transformace

#### 4. Závěr

V příspěvku jsou popsány metody obrazové analýzy dat. Pozornost je soustředěna jak na zaznamenání obrázků pomocí zařízení určených k digitalizaci, tak na jejich vlastní analýzu. Obě etapy musí být řešeny v součinnosti, protože chybně zaznamenaný obrázek lze již velmi obtížně analyzovat. Velkou pozornost je třeba věnovat charakterizaci optické soustavy, parametrům záznamového prvku (plošné rozlišovací schopnosti a rychlosti záznamu a formátu ukládaných dat). Pomocí vhodného nastavení parametrů optické soustavy (optické filtry, jas, kontrast) lze usnadnit (umožnit) vlastní obrazovou analýzu. Je třeba si uvědomit, že k získání základních informací o obrazové struktuře je třeba provádět komplexní obrazovou analýzu založenou na lineárních ortogonálních transformacích. Velkou pozornost je třeba také věnovat interpretaci výsledků.

Detilnější informace o fraktální analýze, o které je zmínka v závěru příspěvku je možné získat např. na webových stránkách autorů [8].

#### 5. Literatura

- [1] CMOS versus CCD, *Imaging Resource*, Inc., 2000 – 2001, [www.imaging-resource.com](http://www.imaging-resource.com)
- [2] Zmeškal O.: *Vlastnosti digitálních fotoaparátů*, Magazín fotografie, 1 a 3, 2002
- [3] Encyklopedia, *Roper Scientific, Inc.*, 2000 – 2001, [www.roperscientific.com](http://www.roperscientific.com)
- [4] Žára J., Beneš B., Felkel P.: *Moderní počítačová grafika*, Computer Press, 1998
- [5] Zmeškal O., Nežádal M., Sedlák O.: *Využití fraktální analýzy při hodnocení kvality tisku*, IV. Polygraphic Conference, University of Pardubice, September 12. - 13., 2001, ISBN 80-7194-372-X, p. 92 - 101
- [6] Gonzales R. C.: *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, USA, 1987
- [7] Krůčka A., Smékal Z., Zicha Z.: *Číslicové zpracování signálu*, skripta VA Brno, 1983
- [8] Zmeškal O., Nežádal M.: *HarFA - Harmonic and Fractal Image Analyser*, programový produkt, [www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci](http://www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci), © 2001.
- [9] Giorgiany E. J., Madden T. E.: *Digital Color Management*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, USA, 1997
- [1] Chovancová V.: *Kolorimetria farebných monitorov*, Bakalářský projekt, katedra polygrafie a aplikovanej fotochémie CHTF STU, Bratislava, 2000
- [11] Digital Cameras, *Imaging Resource*, 2001, <http://imaging-resource.com/digcam01.htm>