

Vyhodnocování jasů pomocí digitální fotografie

Petr Baxant, Doc. Ing., Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT, Vysoké učení technické v Brně,
<http://www.ueen.feec.vutbr.cz/~baxant>, email: baxant@feec.vutbr.cz

Úvod

Fotografická technologie je známa přibližně dvě století a zaznamenala za dobu své existence několik převratných objevů, které poznamenali celý fotografický průmysl. Účel technologie se však od doby prvních pokusů až do dneška nezměnil. Stejně jako dříve i dnes požadujeme od fotografie co nejvěrnější záznam obrazu reálného světa, tak jak ho vidí lidské oko, abychom kdykoliv tento obraz mohli zpětně našemu zraku předložit pro vytvoření stejného informačního vjemu, jako nám poskytla původní skutečná scéna.

Můžeme tedy říci, že ideální fotografie uchovává na nosném paměťovém médiu obrazové informace existující v daném časovém okamžiku, na daném místě a v daném směru pohledu. Cesta zpětné reprodukce záznamu pak vytváří obrazovou scénu podobnou originálu, s cílem vytvořit zrakový vjem vzbuzující pocit pohledu na originální (původní) scénu.

Skutečná fotografie v jakékoliv dřívější i dnešní podobě hledala a hledá cestu, jak se tomuto ideálu přiblížit co nejvíce. Ve chvíli, kdy svým zrakem nebudeme schopni rozlišit co je realita a co pouze obraz reality, bude fotografie u svého sledovaného cíle. Pak budeme schopni zachycovat libovolný obraz reality a kdykoliv si jej ve stejné kvalitě opět reprodukovat, aniž bychom byli ochuzeni ztrátou kvality, ztrátou informace a tím pádem i ztrátou dojmu ze zachyceného pohledu. S takovou fotografií budeme moci provádět stejná pozorování, měření, analýzy a hodnocení jako v reálném světě, který fotografie zachytí. Podstatný rozdíl bude v tom, že fotografie na rozdíl od reality zůstane neměnná po neomezenou dobu, může se přenášet na libovolné místo a může být předkládána libovolnému počtu pozorovatelů bez ovlivnění okolními vlivy.

Fotografie

V dnešní době vedle sebe existují v podstatě tři technologie pořizování fotografií. Historicky nejstarší je klasický záznam na kinofilm, kde dopadající světlo usměrněné optikou a clonami, svou energií a prostorovým rozložením působí fotochemicky na záznamový materiál, film potažený chemicky fotocitlivou vrstvou oxidů stříbra. Druhou skupinu tvoří přímý záznam obrazu na výsledný fotomateriál, který je znám pod názvem polaroid podle firmy, která jej v roce 1947 vyvinula a dodnes využívá. Tato technologie umožňuje vytvářet výsledné obrazy bez přítomnosti mezičlánku (negativu) a dodatečných chemických procesů v laboratoři.

Poslední technologie, která je v dnešní době ve fotografii nejdiskutovanější je digitální fotografie. Jedná se o poměrně novou technologii, kterou uvedl do života objev plošných CCD snímačů, které jsou schopny měnit energii světelnou na energii elektrickou. K tomu, aby digitální fotografie dospěla až do dnešní podoby, bylo však nutné podniknout celou řadu dílčích kroků. První využití CCD snímačů bylo v analogových kamerách, kde nebylo nutné používat digitální technologie záznamu obrazu, ale kde se pouze zpracovává signál analogový, který je ostatně i výsledkem převodu světelné informace na elektrický signál ve vlastním snímači. Přidáním analogově digitálních (A/D) převodníků bylo možné tento signál kvantovat a digitalizovat a již jako digitální upravovat a ukládat v číslicové podobě. Tento krok znamenal zásadní změnu oproti všem dosavadním technologiím. Digitálně pořízený záznam je stálý a neměnný (pokud se nebudeme o stálosti paměťového média) a jeho uchování a zpětná reprodukce tedy není časově závislá a ve stejné kvalitě se stejným množstvím informace může být reprodukován v neomezeném množství kopií. Další kroky v digitálním světě fotografie již byly pouhým vylepšováním a zdokonalováním známých principů. Barevnou fotografii umožnili pořizovat CCD čipy s barevnými filtry, které v dnešní době, co se týká počtu, výrazně převyšují původní technologie vícečipových aparátů, kde se obraz rozkládal obvykle do tří obrazů v základních barvách RGB pro každý snímač samostatně, nebo kde se vytvářely tři po sobě jdoucí obrazy na jednom CCD snímači postupně v jednotlivých barevných složkách. Trendy minulosti a pravděpodobně i blízké budoucnosti jsou ve zvyšování rozlišení (počtu bodů) CCD snímačů, zvyšování citlivosti snímačů při současném snižování šumu a zvyšování dynamického rozsahu snímačů. V dnešní době, pomíneme-li speciální a profesionální přístroje, má digitální fotografie k dispozici přístroje s rozlišením téměř 25 milionů obrazových bodů a 12, 14 nebo 16-ti bitovou hloubku barev ve třech barevných souřadnicích. Jelikož se však technologie rychle rozvíjí, lze

očekávat, že současný standard bude v následujících letech nahrazen standardem jiným a konečné hranice zatím nejsou nijak definovány. Ve spojení s výpočetní technikou, jejíž rozvoj je v poslední době dobře znám, bude digitální fotografie z tohoto rozvoje významně těžit, což je patrné i na zřetelném ústupu klasické fotografie vůči digitální.

Bez ohledu na stav současné technologie a trendy budoucnosti máme již dnes k dispozici přístroje, které ve své podstatě zachycují světelné poměry existující v okolním světě na paměťové médium v digitální podobě a v dostatečné kvalitě. A uvážíme-li, že lidské oko pracuje na velice podobných principech bodové separace plošného obrazu a komprimace signálu, můžeme říci, že máme k dispozici systém, který zjednodušeně realizuje funkci oka a zrakových center pro uchování zrakového vjemu. Fyziologické hranice zraku jsou geneticky pevně dány, přičemž se mohou mezi jedinci mírně lišit, ale dlouhodobě je lze považovat za stabilní. Oko vždy bude zpracovávat světelné podmínky konečným počtem tyčinek a čípků s konečnou citlivostí, spektrální citlivostí a časovou odezvou se stejným výsledkem vzniku zrakového vjemu, rozlišení detailů, kontrastů a barev. Naproti tomu digitální fotografie bude své parametry ještě dále vylepšovat a zdokonalovat a nelze vyloučit, že překoná fyziologické hranice lidského zraku. Již dnes lze říci, že lze pořídít takové záznamy, které překonávají fyziologické vlastnosti oka. Např. při vysoké citlivosti snímače a dostatečně dlouhé expozici získáme snímky v nočním vidění, které obsahují detaily, které již pouhým okem nevidíme. Za denního světla jsme zase schopni pomocí makrofotografie fotografovat mikroskopické detaily, které normální zrak bez přídavných optických pomůcek nevidí ani vidět nemůže. Vysoká přesnost, stabilita a jednotný standard (alespoň mezi přístroji stejného typu) umožňují pořizovat digitální fotografie stejné kvality bez ohledu na kvalitu předlohy. Výsledek neovlivňuje žádný lidský faktor a zanedbatelné jsou i ostatní vnější vlivy. Digitální fotografie se proto svým vysokým stupněm reprodukovatelnosti dostává na hranici měřicí techniky. Každý elementární bod obrazového snímače se stává miniaturním fotometrem schopným změřit jasové úrovně v příslušném bodu prostoru a hodnotu tohoto měření předat systému, který ji uloží na přesně stanovené místo.

Všechny informace o parametrech pořízeného snímku jsou přitom bezpečně uchovány společně s pořízenou fotografií a mohou být kdykoliv využity ke zpracování takto pořízeného obrazu. Rozšířený grafický formát ukládaných dat dnes již běžně obsahuje vedle obrazových informací také informace o přístroji, který obraz pořídil a o jeho nastaveních. V této souvislosti hovoříme o dodatečných informacích, tzv. metadatech. Formát pro ukládání těchto metadat je určitým způsobem standardizován a popsán Exif formátem (Exchangeable image file format). Většina grafických programů dokáže tato metadata načítat a zobrazovat. Znalost těchto informací je nezbytně nutná pro zpětnou analýzu obrazu.

Využití digitální fotografie ve fotometrii

Primárním využitím fotografie je záznam obrazu a jeho zpětná reprodukce, ale jak již bylo řečeno, digitální technologie se posouvá až k hranicím měřicí techniky. Definice měřicího přístroje říká: měřicí přístroj je přístroj určený k převodu měřené veličiny na signál nesoucí informaci o její hodnotě (údaj). Ukazovací měřicí přístroj hodnotu měřené veličiny ukazuje, zapisovací měřicí přístroj ji zapisuje. Na základě této definice bychom mohli digitální fotoaparát klasifikovat jako měřicí přístroj zapisovací, neboť skutečně dochází k zápisu změřené hodnoty jasu snímané scény. Běžně si tuto vlastnost přístroje neuvědomujeme, ale v principu je tomu skutečně tak. Popišme alespoň stručně, jak tato cesta měření a zápisu probíhá.

Základem vzniku obrazu je přítomnost světelného zdroje v prostoru, kde se má fotografie pořídít. Světelný zdroj generuje světelný tok, směřovaný dle směrové charakteristiky do prostoru. Za světelný zdroj považujeme zdroje přírodní i umělé tj. Slunce, Měsíc, oblohu, žárovky, zářivky, výbojky apod. Světelný tok v prostoru se odráží, rozptyluje a pohlcuje, přičemž odraz může být difúzní nebo zrcadlový (popř. smíšený). Tok odražený směrem k oku ve formě paprsků procházejících rohovkou, zornicí, čočkou a dopadající na sítnici oka, vyvolává patřičné fotochemické reakce a zahajuje proces zrakového vjemu. Je nositelem informace a obvykle v této souvislosti hovoříme o jasu svazku paprsku. Právě jas je fotometrickou veličinou, která je primárně rozlišována okem a jehož rozložení na pozorované scéně vytváří odpovídající jasové kontrasty vedoucí ke vzniku obrazové informace - vjemu vidění.

Na základě těchto poznatků k zachycení obrazu okolního světa potřebujeme přístroj, který bude schopen stejně jako oko detekovat svazky paprsků světelného toku, nesoucí informace o jasu bodů na plochách v prostoru směrem k pozorovateli a patřičným způsobem tyto informace zaznamenat. Při konstrukci takového přístroje nakonec byly použity principy, které využívá i lidský zrak. Ve fotoaparátu proto najdeme čočky usměrňující dopadající světelný tok tak, aby vytvořil ostrý obraz na ploše snímače (filmu), dále pak clony, které plní podobnou adaptační funkci jako zornice lidského oka a regulují celkové množství dopadajícího světla a v neposlední řadě

fotocitlivou plochu, která je stejně jako fotocitlivé buňky sítnice, schopna detekovat prostorové rozložení fokusovaného světelného toku. Bohužel však ani fotocitlivý materiál filmu ani CCD snímač nepracuje kontinuálně ale pouze jednorázově, což znamená, že není schopen detekovat okamžitou úroveň intenzity světla (světelného toku), ale pouze časový integrál této intenzity tedy osvit. Proto jsou dnešní přístroje vybaveny uzávěrkou (clonou), která pouze na krátký okamžik otevře vstupní otvor pro průchod světla a po uplynutí expoziční doby jej opět uzavře. Jelikož je čas expozice známý, můžeme na základě výsledku expozice a tohoto času určit časově průměrnou hodnotu intenzity dopadajícího světla, které bylo zdrojem pro záznam obrazové informace. To je první předpoklad umožňující fotoaparát dále využít jako měřicí přístroj.

Klasický fotoaparát využívající pro záznam obrazu svitkový film opatřený fotocitlivou vrstvou sloučenin stříbra je v tomto směru náchylný na celou řadu vnějších vlivů, které mohou ovlivnit výslednou informaci zaznamenanou na fotografii. Každý fotografický materiál se vyznačuje určitými vlastnostmi. I kdybychom našli výrobce, který bude vyrábět zcela identické filmy, nepodaří se nám zajistit jejich dostatečnou časovou teplotní a chemickou stálost, abychom zajistili rovnocenné měřicí podmínky za každé situace. Dalším problémem je chemická stabilizace exponovaného filmu (vyvolání), kde celá řada faktorů může opět ovlivnit výsledky záznamu. Vytvořit technologii, která by zajistila dostatečnou reprodukční stálost by bylo značně finančně a technicky náročné. Naznačený problém je možné elegantně řešit právě pomocí digitální fotografie. Tím že digitální fotoaparát nepoužívá při svém provozu žádný výměnný fotomateriál a fotocitlivý prvek je fixně zabudován v těle přístroje, odpadá nebezpečí nedodržení nebo odchylek v technologickém postupu zpracování pořízených snímků. Celý proces je totiž ve vlastní režii fotoaparátu. Přesnost řídicí elektroniky, použitých součástek a digitální technologie podmiňují vysoký stupeň reprodukovatelnosti výsledků, což znamená, že při záznamu stejných obrazových scén, i v časově dlouhém horizontu, získáváme prakticky stejné výsledky, které neovlivní lidský nebo jiný faktor (předpokládáme stejné nastavení přístroje).

Základem digitálního aparátu je světlocitlivý snímač - v dnešní době převážně na bázi plošného CCD čipu. Optická část přístroje zůstává principiálně stejná jako u klasického fotoaparátu s tím rozdílem že je uzpůsobena jiným rozměrům pole světlocitlivého snímače. Princip činnosti CCD snímače zde nemá smysl dopodrobna rozebírat. Důležité je že dopadající světlo svou energií dokáže v každé jednotlivé buňce CCD čipů generovat elektrické nosiče náboje, které jsou po expozici v buňkách pevně uchovány. Důmyslnou cestou přenosu náboje jsou tyto nosiče postupně dopraveny k výstupnímu zesilovači, který převede množství náboje v každé jednotlivé buňce na měřitelnou hodnotu napětí a tato hodnota je dále digitalizována a slouží jako elementární informace pro sestavení výsledného snímku - digitální fotografie - který se ukládá do paměti přístroje. Jelikož digitální fotografie není nic jiného než soubor binárních hodnot, který má přesně stanovená pravidla daná patřičným grafickým formátem, je možné provést zpětnou rekonstrukci celého procesu zpracování a ukládání a dojít až k počátečním podnětům, které vedly k vytvoření vzniklého snímku. A to je cíl, který hledáme. Máme zde na jedné straně měřenou veličinu - prostorové rozložení jasu snímané scény a na druhé straně záznam - digitální fotografii s dalšími informačními údaji. Podle definice jde tedy o měřicí přístroj schopný měřit prostorové rozložení jasu snímané scény.

Ovšem jako reálné měřicí přístroje i digitální fotoaparát má svá omezení, rozsahy měření, chyby a přesnosti měření. Ty závisí jak na vlastním přístroji, tak na nastaveních, která se při pořízení fotografie použijí. Jelikož se digitální fotoaparát jako měřicí přístroj normálně nepoužívá, není ani možné tyto technické parametry běžně získat například u výrobce. Je však možné je získat na základě pokusů a měření při procesu cejchování. Takto cejchovaný přístroj se známými převodními vztahy již lze bez problému využít i jako přístroj měřicí. Je však samozřejmě nutné počítat s konečnou chybou měření, která však z hlediska statistické rozdílnosti zrakových vlastností lidského oka u různých jedinců bude akceptovatelná.

Využití digitální fotografie při analýze zrakové činnosti

Než začneme aplikovat vlastnosti digitální fotografie na zrakovou činnost, je nejprve nutné definovat základní pojmy a výchozí podklady související se zrakovým vnímáním. Rozebírat dopodrobna principy zraku nemá v této chvíli smysl, důležité jsou pouze výsledky a závěry praktických testů, které definují určité mezní stavy zraku. Jako každý senzor, tak i zrak pracuje pouze v určitém intervalu světelných podmínek a mimo tento interval není schopen vykonávat předpokládanou činnost. Mezi mezní stavy řadíme kontrastní citlivost, velikost rozlišovaného detailu, rychlost vnímání, horní a spodní mez citlivosti zraku, oslnění a podobně. Mezní stavy jsou přitom mezi sebou vzájemně vázány. Např. velikost kritického detailu úzce souvisí s kontrastní citlivostí, kontrastní citlivost souvisí s úrovní adaptace anebo například s dobou pozorování. Vzájemné interakce mohou být poměrně složité a často se vyjadřují parametrickými průběhy v grafech.

Zrakový vjem představuje soubor informací, které jsou optickou cestou přenášeny z okolního světa. Za elementární zrakový vjem můžeme považovat kontrastní přechod, tj. existenci svou ploch (bodů), jejíž jas je různý, to znamená vytvářející přechod tmavé a světlé plochy. Monotónní scéna s jedinou úrovní jasu nepřináší zraku žádnou informaci. Zrak prakticky nemůže ani akomodovat neboť, chybí potřebný detail, na který by se optický systém zaměřil. Narušíme-li monotónní scénu detailem o jiném jasu, vznikne elementární informace, na kterou jsou schopny reagovat patřičná vjemová pole sítnice oka. Signál, který generují, je popudem jak pro akomodační mechanismy, tak pro nadřazený zrakový systém, který informaci vyhodnotí. Soubor takových elementárních informací (detailů) vytváří běžný obraz tak jak jej známe z každodenního života. Lze říci, že každá scéna obsahuje nekonečné množství informací, přičemž zrak provádí selekci pouze vybrané a pro lidský organizmus významné části, což ve většině případů postačuje pro orientaci v prostoru, detekci nebezpečí či normální zrakovou činnost. Způsob selekce informace vychází z běžných přirozených podmínek, za kterých se zrak po tisíciletí vyvíjel. Hranice selekce definují již zmíněné mezní stavy zraku.

Podobně je tomu i u digitální fotografie resp. digitálního fotoaparátu. Vlastnosti konkrétního typu přístroje určují rovněž mezní stavy kontrastní citlivosti, mez rozlišitelnosti jasu, velikost kritického detailu, dynamický rozsah snímání jasu, rychlost snímání apod. Na základě podobnosti mezních stavů zraku a mezních schopností fotoaparátu můžeme zatím konstatovat, že podobnost těchto vlastností lze využít při zkoumání zrakové činnosti na základě analýzy obrazu pořízeného digitálním fotoaparátem za stejných podmínek, které vedly k vytvoření zrakového vjemu. Aby byla analýza úspěšná je nutné, aby informace uložené v podobě digitální fotografie byly nadmnožinou informací zpracovaných zrakovým systémem. Zjednodušeně řečeno digitální fotografie musí „vidět“ lépe než oko za stejných podmínek. Toho lze dosáhnout, pokud se omezíme pouze na vybrané a stěžejní informace. Mezi ně budeme řadit velikost kritického detailu a mezní rozlišitelnost jasu. Podívejme se nyní na parametry, které nám poskytne běžný digitální fotoaparát. Při rozlišení cca 3 Mpx (Mega pixely – milióny bodů) a použití normálního objektivu nám středové pixely obrazu detekují detaily v zorném úhlu cca 0,0375 stupňů, což jsou necelé 3 úhlové minuty. To znamená, že na plochu jednoho pixelu se promítne např. detail velikosti 1x1 cm pozorovaný ze vzdálenosti asi 15 m. Z tohoto příkladu je patrné, že rozlišovací schopnost fotoaparátu je stejná nebo lepší než rozlišovací schopnost oka, neboť zrakem bychom tento detail mohli pozorovat přibližně ze vzdálenosti 7 m (uvážujeme-li mezní rozlišovací schopnost oka nejmenším pozorovacím úhlem 5 úhlových minut).

Co se týče záznamu informace o jasu, disponuje většina digitálních fotoaparátů čipy, které mají dynamický rozsah minimálně 8 bitů tj. 256 úrovní. Znamená to, že rozsah mezi maximálním a minimálním zaznamenaným jasnem (zcela saturovaný a nevybuzený pixel) se dá rozdělit na 256 jasových úrovní. Rozdíl mezi dvěma sousedními úrovněmi je tedy pouze 1/256. Minimální kontrast, který lze takto detekovat je 0,004. Literatura uvádí, že lidské oko je schopné detekovat rozdíly jasu nelišící se o méně jak 1% a to za optimálních osvětlovacích podmínek. Tato schopnost zraku plně postačuje pro detekci kontrastů, které se běžně vyskytují. Digitální fotografie je schopna detekovat ještě menší rozdíly jasu, takže ani zde nenajdeme problematické místo, které by digitální fotografií nedovolovalo použít.

Dalším parametrem je celkový dynamický rozsah detekce jasu při dané adaptační úrovni. Tento rozsah je definován dvěma hraničními čarami, přičemž jasy vyšší způsobují oslnění a jasy nižší není oko schopné zaznamenat. V literatuře uváděný rozsah vnímatelných úrovní jasů je přibližně 3 dekády. To znamená, že při dané adaptační úrovni je oslňující jas asi tisíckrát větší než prahový jas zaznamenaný zrakem. Digitální fotografie má tu vlastnost, že v jediném snímku je schopna pracovat rovněž s omezeným rozsahem detekce jasu. Jasy pod úrovní detekce jsou zaznamenány hodnotami nula (černá barva) jasy nad úrovní maxima jsou zaznamenány maximální hodnotou, obvykle 255 (1 Byte – bílá barva). Na rozdíl od zraku však máme možnost u digitálního fotoaparátu pořídit celou sérii snímků při stejných jasových podmínkách, to znamená, že jsme schopni vhodným nastavením snímat jak jasy velmi vysoké (řádově do desítek tisíc cd.m^{-2}), tak jasy velmi nízké na úrovni setin až tisícín cd.m^{-2} . Jejich kompozicí v paměti počítače pak můžeme získat celkový rozsah detekce i o několik řádu větší než nám poskytuje lidský zrak.

Posledním bodem, který vymezuje hranice použitelnosti je zorný úhel snímání obrazu. Lidský zrak za běžných podmínek fopického a binokulárního vidění obsáhne v jediném pohledu prostorový úhel cca 5 steradiánů. Je to úhel vymezený přímkami svírajících s osou pohledu po stranách cca 95°, 65° směrem nahoru a 75° směrem dolů. Tento celkový rozsah je dán jednak rozmístěním fotoreceptorů na sítnici oka a jednak optickými vlastnostmi soustavy oka a umístění oka v oční jamce. Z tohoto rozsahu však ostře vidíme pouze v zorném úhlu cca 4 stupně. Úhly mimo tuto oblast znamenají již neostře vidění a periferie pouze vykreslují hrubé rysy prostoru. Na ostrém vidění mají zásluhu především čípky umístěné v centrální jamce sítnice. Při denním vidění zde oko fokusuje obraz s maximální ostroť. Digitální fotoaparát má rozsah úhlu snímání stanoven jednak rozměry (tvarem fotocitlivé plochy) a jednak optickými vlastnostmi objektivu, který směřuje paprsky světla na fotocitlivou plochu. Součástí

objektivů jsou čočky a clony. V praxi fotografická technika rozlišuje několik typů objektivů a tyto typy jsou tříděny buď podle ohniskové vzdálenosti přepočtené vůči klasickému kinofilmu, anebo podle zorného úhlu, který obsáhnou, přičemž první možnost je častější. Základní třídění rozlišuje objektivy normální, širokoúhlé a teleobjektivy. Normální objektiv má ohniskovou vzdálenost 50 mm a jeho rozsah úhlu je tedy cca 60 stupňů. Teleobjektivy mají ohniskovou vzdálenost delší než 50 mm a jejich úhlový rozsah je tedy menší. Pro nás budou nejzajímavější širokoúhlé objektivy, které mají ohniskovou vzdálenost kratší než 50 mm a jsou schopny fokusovat světlo v zorném úhlu až 185 stupňů. Takové objektivy jsou nazývány jako fisheye - rybí oka. Problematické je u těchto objektivů především optické zkreslení, což je pochopitelné, neboť promítají sférické plochy na plochy rovinné. Existují však algoritmy, které umožňují zpětnou projekci těchto zkreslených obrazů do ploch sférických a jejich zpětnou projekci na plochu rovinnou. Můžeme tedy říci, že ani zde nenacházíme nijaká omezení, která by vylučovala použití digitálních fotoaparátů při zkoumání obrazů zrakové činnosti.

Použití digitální fotografie a digitálních fotoaparátů však vyžaduje kvalifikovanou obsluhu, která dovede přístroj správně nastavit a digitální fotografie následně zpracovat. Zatím však v současné době neexistuje metoda, která by digitální fotografii využívala pro hodnocení zrakové činnosti. Existují pouze dílčí měřicí systémy orientované na určitou část zrakové činnosti, respektive na analýzu jasu v omezeném prostoru (jasové analyzátoři). Tyto přístroje používají speciální měřicí kamery založené opět na technologii CCD, které jsou vybaveny kalibrovanými objektivy a spektrálními filtry a dokáží měřit jas, resp. jeho rozložení na snímaných plochách. Cena těchto analyzátorů je však příliš vysoká na to, aby mohly být běžně použitelné za normálních provozních podmínek v širokém nasazení. Běžná digitální fotografie ovšem při správném použití je schopna postihnout podstatnou část informací proudících z okolního světa do našeho zrakového systému, což je podstatné pro vyhodnocení těchto informací pomocí výpočetní techniky. Abychom mohli rozhodnout, jaké množství informací okolní svět zraku poskytuje, musíme mít odpovídající měřicí přístroj. Digitální fotografie by tento požadavek mohla splňovat. Zda je to pravda však ukáže množství pokusů a výzkumů v tomto směru prováděných. Popíšme zatím alespoň některé možnosti nenáročné na složité matematické algoritmy, které můžeme využít již nyní.

Analýza obrazů digitální fotografie

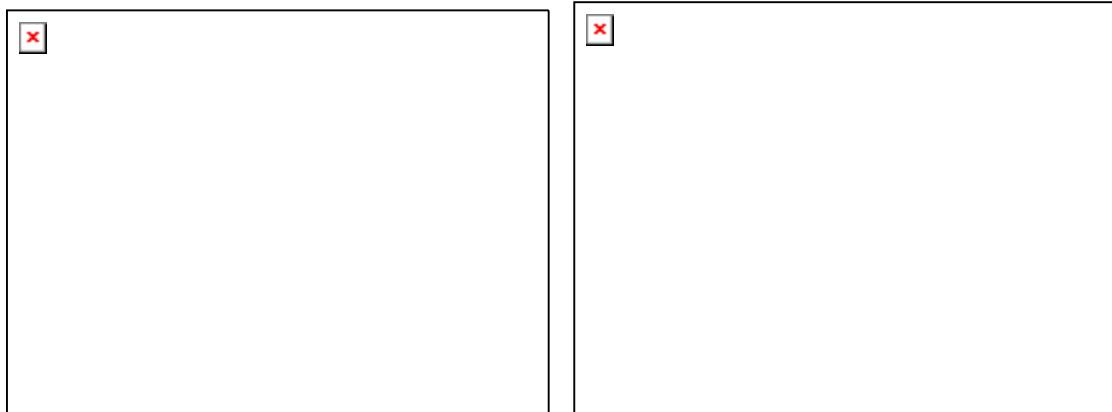
Jak již bylo několikrát řečeno, pro detekci detailů lidským zrakem jsou důležité základní dva faktory: prahový kontrast a velikost kritického detailu. Oba tyto faktory jsou ovlivňovány dalšími vlivy, které se stávají parametry (prahový kontrast a velikost kritického detailu jsou na nich závislé). Mezi ně patří adaptační úroveň zraku, rychlost vnímání, barevná skladba prostoru, fyzická a psychická kondice jedince apod.

Prahový kontrast a velikost kritického detailu jsou informace, obsažené v obrazové scéně vnímané zrakem a jsou tedy detekovatelné měřicími přístroji a tedy i fotografií. Parametry, ovlivňující výsledný efekt zrakového vjemu, jsou závislé na konkrétní situaci a na konkrétním pozorovateli. Jsou popsitelné, ale nejsou součástí vnímaného obrazu (kromě barevné skladby prostoru, kterou je možné rovněž postihnout pořízením fotografie).

Každá analýza je podmíněna existencí metodiky, která standardizuje postupy vedoucí k hledanému cíli analýzy. V tomto směru představuje analýza digitální fotografie problém, neboť metodiky pro zpracování digitální fotografie z hlediska zrakového vnímání neexistují. Každá analýza bude tedy v současné době pouze experimentem.

Jako zdroj pro analýzu použijeme dva testovací obrazy pořízené digitálním fotoaparátem NIKON CoolPix 990. Snímky pořízené při vyšetřovacím pokusu mají rozlišení 2048x1536 bodů. Základní parametry nastavení přístroje jsou následující:

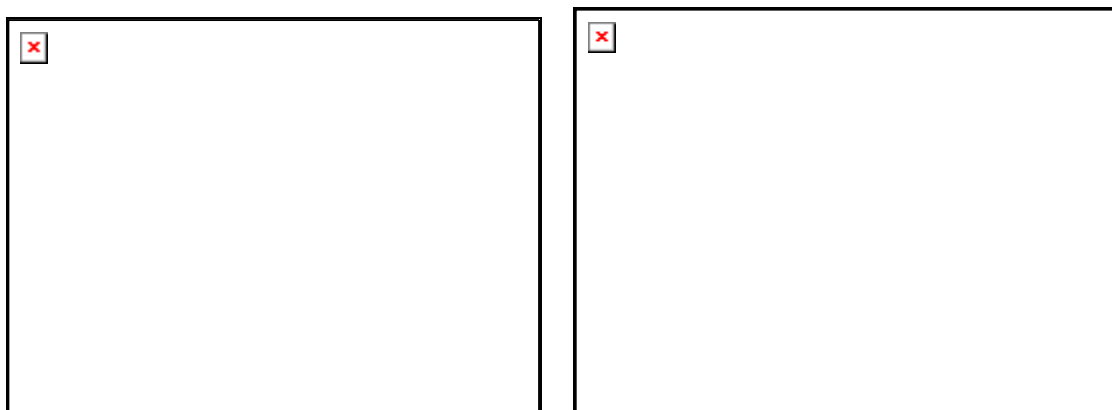
- Expoziční čas: 4 s
- Clonové číslo: 3,6
- Citlivost: 100 ISO
- Ohnisková po přepočtení na klasický kinofilm (35 mm)
- Vzdálenost od test objektu: 60 metrů
- Osvětlení: Opel Vectra – dálková a potkávací světlá



• obrázek 1 Digitální fotografie pořízená při osvětlení dálkovými a potkávacími světly automobilu na testovací scéně.

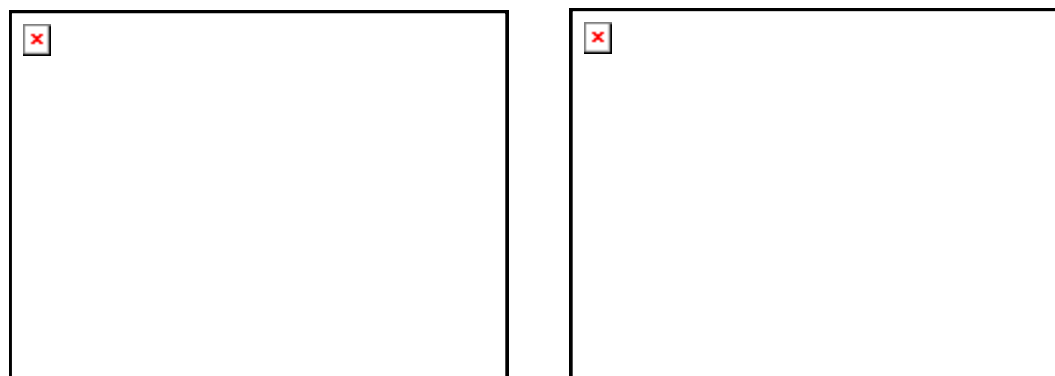
Bez jakékoliv analýzy můžeme pouhým vizuálním posouzením říci, že test objekt osvětlený dálkovými světly je dobře viditelný, ovšem při osvětlení potkávacími světly tomu tak není a detekce objektu zde není možná.

Vizuální posouzení je však zatíženo subjektivní chybou. K objektivnějšímu posouzení je nutné provést takové úpravy snímku, aby se úroveň viditelnosti objektu dala určitým způsobem kvantifikovat.



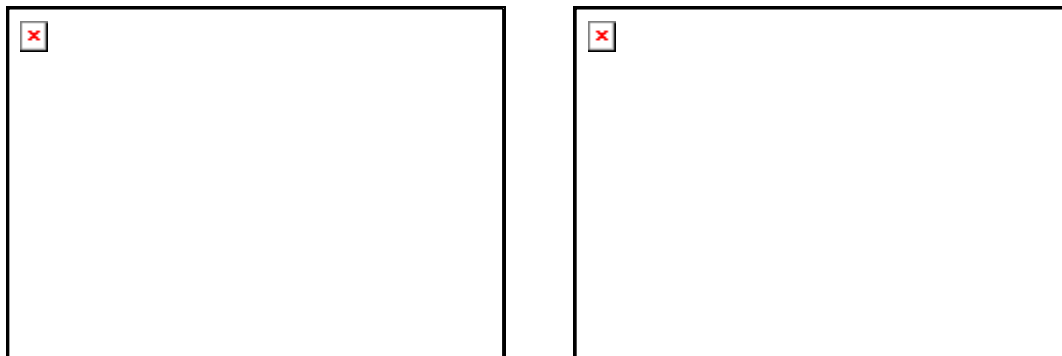
• obrázek 2 Threshold transformace s prahem jasu 47 (z 256 úrovní) určující hranici jasu viditelného pole.

Na tomto snímku bylo provedeno prahování jasové složky obrazu. Jedná se o nejjednodušší případ filtrace (transformace). Základem je stanovení prahu relativního jasu (na snímcích to byla úroveň 47). Pixelům s nižší úrovní jasu se přiřadí nová úroveň jasu 0 (černá) a pixelům s vyšším jasnem úroveň jasu 255 (bílá).



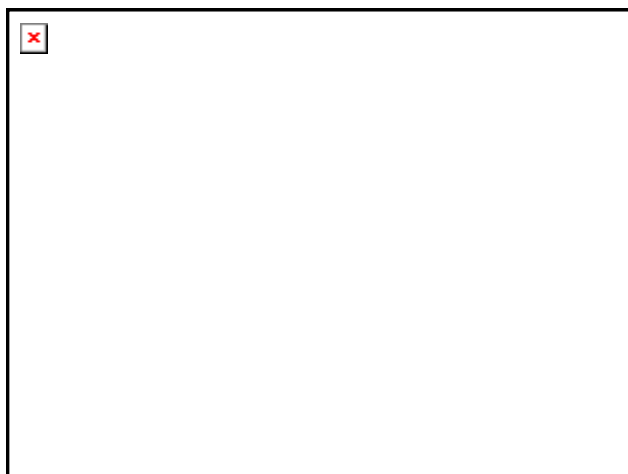
* obrázek 3 Transformace obrazu detekující hrany (trace contour).

Další úpravou a transformací obrazu je hledání hran a přechodů (trace contour). Touto transformací označíme jinou barvou pouze ty body v obraze, kde dochází k přechodu mezi dvěma úrovněmi – hranice kontrastu. Pokud tuto transformaci provedeme z předchozího snímku, získáme tak určitou čáru, která odděluje plochy světlé od ploch tmavých, takže určuje linii největších kontrastů. Podobnou linii vnímá i lidské oko. Zjednodušeně by se dalo říci, že objekty nacházející se v oblasti označené bíle jsou zrakem detekovatelné a objekty nacházející se v oblasti označené černě jsou zrakem nedetekovatelné. Při vhodně nastaveném prahu jasu bude tento výsledek z velké části pravdivý. Vyhledaná čára pak určuje hranice mezi oblastí detekce a oblastí bez možnosti detekce.



* obrázek 4 Detail transformace obrazu detekující hrany (trace contour).

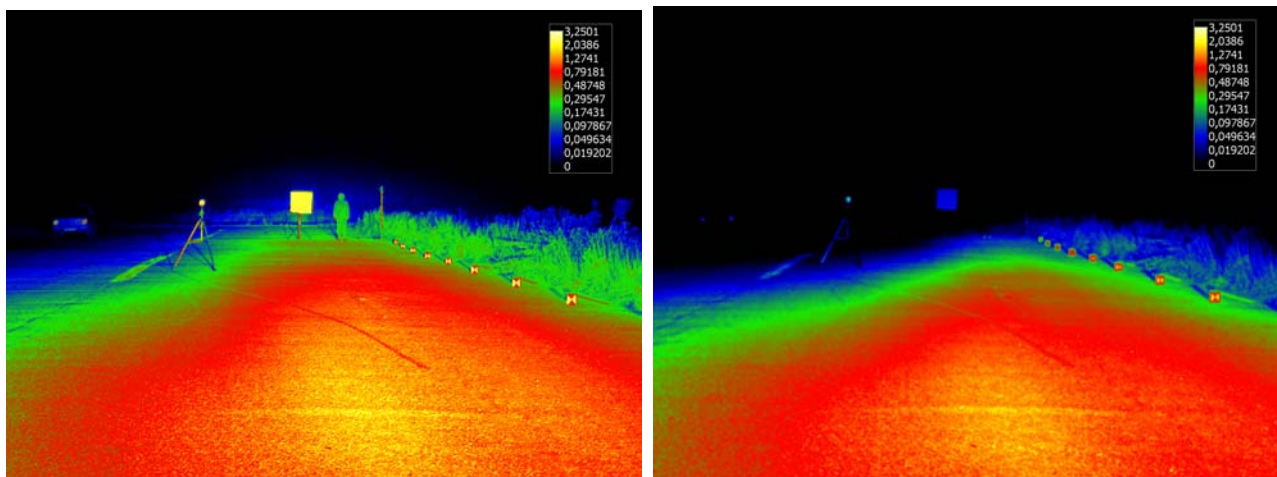
Na těchto obrázcích je zvětšený detail části transformovaného snímku s test objekty. První obrázek ukazuje zcela zřetelné siluety objektů (tabule, figurant, tyč), což znamená, že tyto objekty dostatečně kontrastují s pozadím. Na druhém snímku nasvíceném potkávacími světlomety však vzniklo takové rozložení jasu, které hranici rozlišitelnosti posouvá výrazně před test objekty. Na detailu je pak vidět pouze hraniční čára dosvitu světlometů a délkové vytyčky pro určování vzdálenosti (čtyři objekty v pravé části snímku).



* obrázek 5 Superpozice dvou obrazů s vyznačením pásma viditelné oblasti pro dálková a potkávací světla.

Spojením obou předchozích snímků pomocí matematické operace po předchozím vyplnění ploch různým odstínem šedé - získáme přehled o tom, kde se nachází úroveň jasu 47. Pokud bychom po předchozích testech stanovili, že tato úroveň je rozhodující pro detekci překážky, pak je patrné, že při použití potkávacích světelných hranice detekce nedosahuje k detekovanému objektu – objekt nemohl být detekován.

Toto je pouze ukázka jednoduchých operací nad digitálními obrazy, které je možné provést např. pomocí grafických editorů. Pokud však budeme chtít provést komplexní analýzu obrazu, je nutné použít specializovaný software, který umožňuje manipulace s digitálními grafickými daty až do úrovně jednotlivých pixelů. Pracoviště Ústavu elektroenergetiky se systematicky vývojem softwarové podpory pro zpracování digitálních fotografií za účelem jasové analýzy zabývá již několik let. Výsledkem je software LumiDISP [4], který poskytuje řadu zajímavých funkcí, které by bylo možné upravit pro aplikaci v konkrétních případech.



* obrázek 6 Jasová analýza snímku v programu LumiDISP při osvětlení dálkovým a potkávacím světlometem, snímky z obrázku 1. Záměrně je volena shodná paleta pseudobarev

Mezi operace, které lze s obrazem provádět a které bychom mohli využít pro metodiku a stanovování rozeznatelnosti objektů patří hledání objektů na základě minimálních kontrastů, určování jejich polohy v obraze (vzdálenost od optické osy oka), určování jejich velikosti (prostorového úhlu), určování jejich tvarů, indexace objektů, filtrace šumů, tj. odstranění příliš malých detailů, určování lokálních kontrastů objektů vůči pozadí atd.

Závěr

Aplikací již známých teorií rozeznatelnosti objektů je možné pomocí digitální fotografie získat potřebná data a zhodnotit je pomocí existujících vztahů, závislostí a poznatků. Bohužel neexistuje jednotná metodika, která by jasně stanovovala postupy při vyhodnocování rozeznatelnosti. Několik existujících metodik lze programově (softwarově) udržovat vedle sebe a výsledky navzájem porovnávat. Lze očekávat, že čím jednodušší metoda bude použita, tím méně komplexní výsledky získáme a jejich věrohodnost bude snížena. Je nutné si uvědomit, že v době, kdy tyto metodiky vznikaly, neexistovala výpočetní technika, která by mohla výrazně podpořit výsledky výzkumů zejména při statistickém zpracování a vyhodnocování velkého množství pokusů. Neexistovala ani výkonná měřicí technika, pomocí níž by se dal provádět kvantitativně i kvalitativně obsáhlejší výzkum. Dnes však všechny tyto možnosti máme, přesto využíváme výsledků výzkumů postavených na řadě zjednodušení a metodách, které umožňovala tehdejší technika. Pro využití moderních principů, mezi které patří bezesporu i digitální fotografie, by bylo nutné přehodnotit známé metodiky a navázat na ně dalšími objektivnějšími výzkumy. S využitím výpočetní techniky a automatizovaného měření a zpracování dat by tento úkol v dnešní době neměl být nijak složitý, vyžaduje ovšem odborný a zodpovědný přístup a zároveň poměrně drahou a těžko dostupnou měřicí techniku spolu s programovým vybavením, které je nutné k tomuto účelu nejprve vyvinout.

Existují již specializované jasové analyzátoři, založené na technologiích přesných měřicích CCD kamer, využívající připojenou výpočetní techniku, ovšem jejich cena je příliš vysoká na to, aby se daly použít na běžné terénní měření.

Co se týká digitálních fotoaparátů, pak za rozumnou kvalitu můžeme považovat např. digitální jednooké zrcadlovky výrobců jako jsou Canon a Nikon. Např. fotoaparát Nikon D90 má tyto zákaznické parametry:

- CCD snímač s vysokým rozlišením (12 miliónů pixelů)
- 12-bitový AD převodník
- možnost ukládání „surových dat“ z CCD v RAW formátu – jedná se o nekorigovaná a nezkreslená data přímo z výstupu AD převodníku.
- široký rozsah expozičních časů (od 30 sekund do 1/4000 s, popř. ruční uzávěrka s libovolnou expozicí)

To je výčet nejdůležitějších vlastností, které jsou významné pro měřicí účely. Tento přístroj by mohl být jedním z vhodných a dostupných systémů pro pořizování digitálních dat pro další zpracování. Laboratorně cejchovaný přístroj se pak dá používat jako levná varianta jasového analyzátoři, samozřejmě s přihlédnutím ke

zjednodušujícím předpokladům, což je prakticky pouze spektrální odchylka citlivosti od standardizované $V(\lambda)$ funkce. Ta je však v nočním vidění prakticky nepoužitelná a je diskutabilní i použití skotopické citlivosti $V'(\lambda)$.

Jednoduché analýzy lze provádět s účelově vytvořeným počítačovým a programovým vybavením, pokud se vypracuje metodika pořizování snímků s daným přístrojem.

Testovací provoz systému a srovnání s reálnými výsledky pozorování statisticky významné skupiny pozorovatelů ověří platnost použitých principů a přesnost metodiky měření. Pokud se potvrdí shoda výsledků, můžeme tento systém využít k objektivnímu posuzování dalších následných situací vyskytujících se praxi.

Literatura

- [1] Baxant, P.: Analýza jasových poměrů s využitím digitální fotografie, Disertační práce, Brno 1999, 130 stran
- [2] Baxant, P. Use of digital cameras for solid angle measurement. Energyspectrum, 2006, roč. 1, č. 2, s. 37-76. ISSN: 1214-7044.
- [3] Baxant, P. Quality of Lighting Evaluated by Means of Digital Image Processing, Luxeuropa 2009, Istanbul, Turecko 2009, ISBN 978-9755613529, Volume 1, pp. 541-549
- [4] Program LumiDISP, software pro hodnocení jasových poměrů z digitální fotografie. Dostupný z www.lumidisp.eu.