

Digitální fotografie a její využití ve světelné technice

(dokončení z č. 1/2010)

doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D., Ing. Jan Škoda,
Ústav elektroenergetiky, FEKT,
Vysoké učení technické v Brně

Fotografie s vysokou dynamikou jasu (HDR)

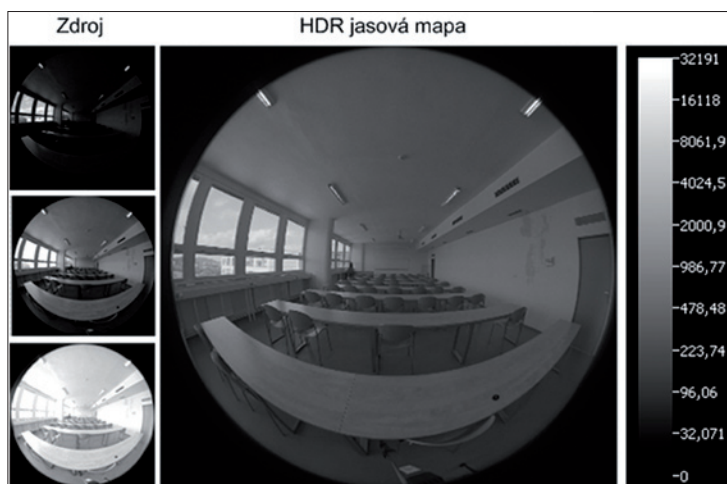
Reálné scény velmi často mají takové rozložení jasu, které není možné v jediném snímku dobře zaznamenat. Správné by bylo nastavit takový expoziční režim, aby byla zaznamenána nejvyšší hodnota jasu bez přesycení čipu. V případě světelných zdrojů, jejichž jasy jsou řádově tisíce až stovky tisíc kandel na metr čtverečný, by okolní jasy téměř zanikly a výsledkem by byla černá fotografie s několika jasnějšími místy – světelnými zdroji. Obrovskou výhodou digitálních fotoaparátů je skutečnost, že jejich expoziční režim je možné snadno nastavit ve velmi velkém rozsahu až několika řádů citlivosti. Tak je možné zaznamenat jak velmi vysoké, tak i velmi nízké jasy. U kvalitních objektivů a digitálních fotoaparátů to může být šest až sedm řádů, což představuje schopnost měřit např. úroveň jasu v řádech desetin až do jednotek milionů kandel na metr čtverečný!

Díky počítačovému zpracování je možné z několika snímků pořízených různou expozicí vypočítat skutečné hodnoty jasů, a ty používat pro další výpočty. Podmínkou je, aby se scéna mezi jednotlivými snímky neměnila, aby snímky byly pořízeny téměř v jednom čase a jedné poloze, tj. ze stativu. Výsledek je patrný z obr. 3, kde jsou uvedeny původní fotografie s různou expozicí a výsledná fotografie s HDR je zobrazena již jako jasová mapa s vhodným měřítkem a logaritmickým vyjádřením, aby byl obraz vizuálně čitelný (upraveno pro černobílý tisk).

Na snímku s HDR (obr. 3) je patrné, že i obloha, která by běžně způsobila saturaci obrazových bodů (pixelů), obsahuje viditelnou oblačnost. Z takového snímku je tedy možné odečítat jasy v podstatě kdekoli v prostoru, stejně jako při měření konvenčním jasoměrem. Výhodou tohoto způsobu je možnost provádět „měření“ až následně při zpracování zaznamenaných dat.

Měření jasu základních ploch

Je-li k dispozici takto získaný digitální záznam jasu, je možné provádět téměř libovolné měření jasu v libovolné

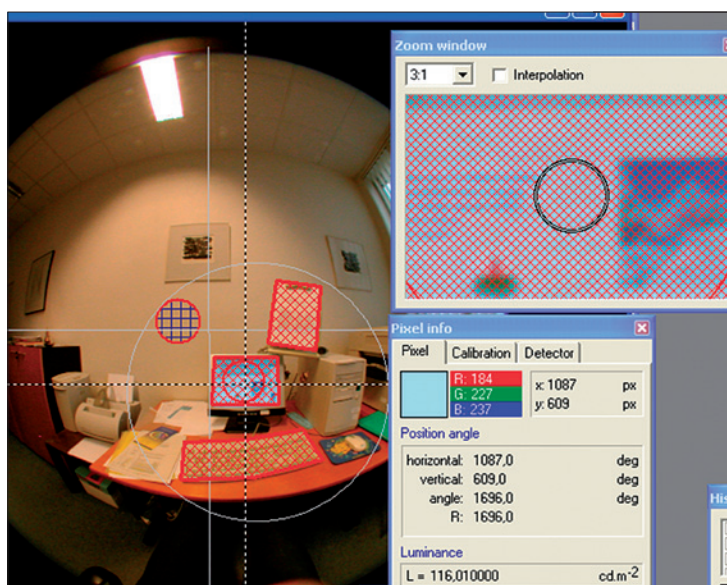


Obr. 3. Vytvoření snímku s HDR z více fotografií s různou expozicí

části obrazu. Je však třeba počítat s tím, že snímek pořízený širokoúhlými objektivy typu rybí oko bude zkreslovat geometrické tvary, takže kruhový detektor na snímku neodpovídá kruhovému detektoru ve skutečnosti. U dostatečně malých detektorů to ale nebude vadit, jestliže jas v rámci detektoru nevykazuje příliš velké rozdíly. Program LumiDISP [5] umožňuje vybrat několik typů detektorů a díky zobrazení náhledového okna (obr. 4) je k dispozici precizní přehled o zaměření detektoru. Určení hodnot jasu je tak snadnější než při konvenčním způsobu měření jasoměrem.

Měření umělého osvětlení ve dne? Ano, je to možné

Měření umělého osvětlení vyžaduje, aby v místnosti, kde jsou okna, nebyl žádný podíl denního světla, tedy v podstatě jen v noci, a dále by bylo ještě vhodné, aby oknem do místnosti nepronikalo žádné rušení např. z veřejného osvětlení nebo jiných rušivých zdrojů. Někdy lze denní světlo eliminovat zatažením závěsů, ale málokdy je místnost vybavena tak, aby závěsy zcela zatemnily prostor; klasické lamelové žaluzie jsou v tomto směru naprosto nevyhovující.



Obr. 4. Měření jasu pro prostředí programu LumiDISP – vlevo nahoře okno detailu s detektorem

Pomocí digitální fotografie je možné využít princip superpozice a získat tak potřebné komponenty pro každý podíl osvětlení. Je známo, že v každém bodu prostoru je účinek světla dán aditivním působením všech zdrojů. Jestliže se tedy změří celkové osvětlení kombinované – tj. denní a umělé – a od tohoto celku se odečte jen světlo denní, získá se složka umělá. Jelikož se ale denní světlo rychle mění, je nutné postupovat poměrně rychle. S klasickým měřením luxmetrem toto nelze stihnout, pomocí digitální fotografie je to otázka několik desítek sekund, a za tuto dobu je změna denního světla minimální. Odečtení hodnot dvou snímků je pouze matematická operace a výsledek je překvapivě věrný (viz obr. 5).

Měření extrémně nízkých jasů – rušivé světlo

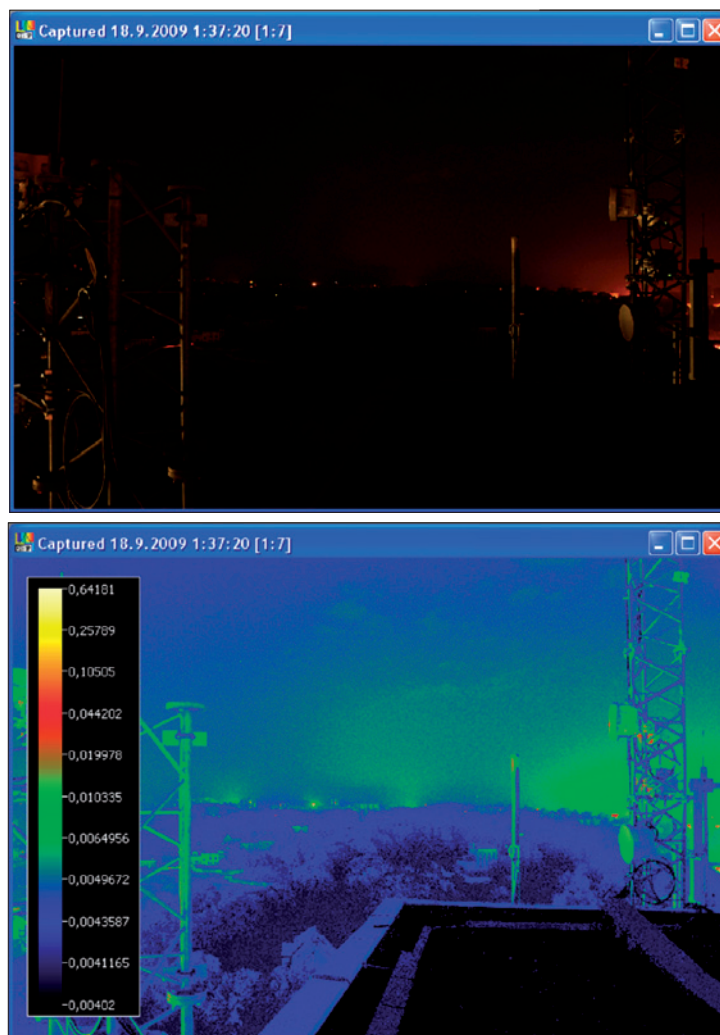
Diskutovanou oblastí světelné techniky je výzkum rušivého světla. Zde se

jako klíčový problém jeví měření velmi nízkých úrovní jasu. S běžnými jasoměry je možné s uspokojivou přesností měřit jasy do $0,01 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Nižší jasy s hodnotami $0,001$ jsou měřitelné pouze speciálními typy jasoměrů, popř. spektrodiodometrů. Například Konica-Minolta CS-2000 poskytuje nejmenší zobrazitelný údaj $0,000\,02 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ [8]. Tyto přístroje jsou ale velmi drahé, nehledě na to, že měření více bodů by trvalo neúměr-

(např. u čipů KAF-0402ME) [9]. Při pokojové teplotě by to bylo asi 16 elektronů za sekundu, tj. při expozici 30 s by zcela zatemněný pixel neměl generovat více než 0,5 % své maximální hodnoty. U běžných digitálních fotoaparátů je teplotní šum natolik malý, že při expozičních časech do 30 s se téměř neprojevuje. Při testech na DF NIKON D90 při pokojové teplotě okolo 27°C při expozici 30 s se objevují pixely s vybuzením zhruba 3,5 %, ale prů-



Obr. 5. Získání jasové mapy umělého osvětlení, shora: jasová mapa pro denní osvětlení, sdružené osvětlení, jen umělé osvětlení



Obr. 6. Jasová mapa oblohy s extrémně nízkými jasy (řádově tisíce $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)

ně dlouho. Díky digitální fototechnice lze měřit velmi nízké hodnoty jasu již při relativně krátkých expozičních časech. Pro běžné digitální zrcadlovky je minimální citlivost $0,01 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ při světelnosti objektivu $F3,5$ a citlivosti ISO 200 asi 10 s. Řádově nižší hodnoty jasů vyžadují řádově delší expozice a nebo použití objektivů s větší světelností, což je problém.

S běžnými nechlazenými čipy se objevuje problém s teplotním šumem vlastního čipu. Ten bývá u lepších senzorů v řádu do jednoho elektronu za sekundu na pixel při 0°C . Tepelný šum roste přibližně dvojnásobně na každých $6,3^\circ\text{C}$

měrná hodnota šumu je někde na úrovni $3,7\cdot 10^{-3}\%$.

Pro hodnoty jasů pod $0,001 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ by však teplotní šum mohl začít převládat nad signálem získaným ze světla a bylo by složité jej eliminovat jinak než intenzivním chlazením čipu, což je možné v podstatě jen u speciálních CCD kamer, chlazených např. Peltierovým článkem.

Při testech v praxi se ukázalo, že obloha v městských aglomeracích je natolik jasná, že není problém rozložení jasu digitálním fotoaparátem zaznamenat a vyhodnotit. Na obr. 6 je vidět, že i relativně tmavá fotografie pořízená s expozicí 15 s, je po zpracování jasovou analýzou dobře čitelná [14].

Závěr

Analýza jasů, resp. zpracování digitální fotografie, má dnes velkou perspektivu a potenciál. Díky zlevňující se fototechnice je dostupnost přístrojů s vysokou kvalitou velmi dobrá, a přístroje se tak řádově blíží cenám běžných jasoměrů. Bohužel bez softwarové podpory je zpracování fotografií na patřičný formát jasových dat téměř nemožné. Existují sice levné nebo bezplatné nástroje, ale s jejich pomocí lze získat data pouze náhledová (orientační) s nespecifikovanou přesností. Po důkladné rešerši dostupných zdrojů se jeví jako jediné vhodné a dostupné řešení použití komerčních produktů, které díky systematickému vývoji nabízejí kvalitní výstupy s mnoha pokročilými editačními funkcemi.

Jak se ukazuje, poměrně dobře je zvládnuta konverze naměřených hodnot na jas, zejména jestliže se použijí fotografické přístroje s vestavěným V_λ filtrem, tudíž není nutné fotometrické přizpůsobení numericky kompenzovat. Dalšího zlepšení lze dosáhnout využitím schopností přístrojů ukládat surová nezpracovaná data ze snímače a až ty následně použít pro výpočet.

Menší prostor je věnován problematice geometrie obrazu, měření prostorových úhlů a souřadnic. V rámci vývoje vlastních softwarových nástrojů byla tato oblast pokryta přidáním obecných funkcí pro manipulaci s obrazem a možností tyto funkce ukládat do databáze pro pozdější použití a aplikaci, např. při dávkové konverzi.

Analýza jasu z digitální fotografie, nebo přesněji z digitálních kamerových systémů, nabízí do budoucna vysoký potenciál aplikací, přičemž současná pra-

xe jich využívá pouze zlomek. Je na nás, abychom tuto techniku nebrali jen jako exotickou alternativu ke konvenčním způsobům měření, ale jako plnohodnotný a objektivní nástroj pro analýzu, která může být mnohem objektivnější než tradiční způsoby měření a hodnocení. Širší používání této technologie poskytne nové pohledy na hodnocení osvětlovacích soustav, jejich optimalizaci a ekonomické využívání energie, kterou stále drazé získáváme zejména z primárních paliv.

Poděkování

Tento příspěvek obsahuje výsledky výzkumu financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v rámci projektu č. MSM0021630516.

Literatura:

- [1] European standard (2002): *EN 12464-1 Light and Lighting – Light of workplaces – Part 1: Indoor work places*.
- [2] BAXANT, P.: *Quality of Lighting Evaluated by Means of Digital Image Processing*. Luxeuropa 2009, Istanbul, Turecko, 2009, Volume 1, pp. 541–549, ISBN 978-9755613529.
- [3] BAXANT, P.: *Photometric data of luminaires and their proper application*. Przeglad Elektrotechniczny, 2008, roč. 2008, č. 8, s. 57–60, ISSN: 0033-2097.
- [4] *Radiance – Synthetic Imaging System* [on-line]. [2002] [cit. 2009-09-20]. Dostupné na WWW: <<http://radsite.lbl.gov/deskrad/>>.
- [5] *LumiDISP, Software for luminance analyse* [on-line]. [cit. 2009-09-20]. Dostupné na WWW: <<http://www.lumidisp.eu>>.
- [6] *LMK LabSoft, TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH* [on-line]. [cit. 2009-09-11]. Dostupné na WWW: <http://www.technoteam.de/products/lmk_luminance_measur

ring_camera/lmk_labsoft_software/index_eng.html>.

- [7] *Photospere software web download* [on-line]. [cit. 2009-09-11]. Dostupné na WWW: <<http://www.anyhere.com/>>.
- [8] *Konica Minolta Product web* [on-line]. [cit. 2009-09-11]. Dostupné na WWW: <http://www.konicaminolta.com/instruments/products/display/spectroradiometer/cs2000/specifications.html>.
- [9] *Moravian instrument web* [on-line]. [cit. 2009-09-11]. Dostupné na WWW: <<http://ccd.mii.cz/art?id=321&cat=22&lang=405>>.
- [10] *Digimanie web page* [on-line]. [cit. 2009-09-11]. Dostupné na WWW: http://www.digimanie.cz/art_doc-5BB-D989CDE087EB9C12574D3003E-1CA6.html?lotus=1&Highlight=0,Digit%C3%A1ln%C3%AD,zrcadloovky,na,cest%C4%9B,%C4%8Dasem.
- [11] *Photos: The history of the digital camera* [on-line]. [cit. 2009-09-11]. Dostupné na WWW: <http://crave.cnet.co.uk/digitalcameras/0,39029429,49293172-11,00.htm>.
- [12] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: *Digitální fotoaparát* [on-line]. c2009 [citováno 29. 09. 2009]. Dostupné z WWW: http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Digit%C3%A1ln%C3%AD_fotoapar%C3%A1t&oldid=4191703.
- [13] BAXANT, P.: *Use of digital cameras for solid angle measurement*. Energyspectrum, 2006, Volume 1, Issue 2, pp. 40–43, ISSN 1214-7044.
- [14] SOKANSKÝ, K.; MAIXNER, T.; NOVÁK, T.; TESAŘ, J.; ZÁVADA, P.; DOŠTÁL, F.; DIVIŠ, D.: Krajina posedlá tmou aneb vypnuté veřejné osvětlení. Světlo 6/2009, ISSN 1212-0812

Recenze: prof. Ing. Jiří Habel, DrSc., Elektrotechnická fakulta ČVUT v Praze



Přidejte se ke sběru zářivek

Přijďte si prohlédnout
(nejen) malou sběrnou nádobu
na veletrh AMPER.

Naši expozici naleznete v hale č. 5
- umístění D14.

ekolamp