

Digitální fotografie a její využití ve světelné technice

Úvod

Světelná technika v posledních několika letech zaznamenává obdobný rozmach jako obecně všechny technické obory, jejichž produkty lidé využívají v denním životě, ať už přímo, tnebo nepřímo. Ve světelné technice se lze setkat s novými materiály, novými světelnými zdroji, svítidly, ale i komplexními řešeními v podobě inteligentních systémů osvětlení budov, popř. ve veřejném osvětlení se systémy s centrálním i distribuovaným řízením, v každém případě navázaným na moderní elektronické prvky, informační a řídicí systémy apod. Smyslem těchto inovací je poskytovat zákazníkům nová řešení, která je odliší od konkurence, a to ve směru toho, co je právě populární. Stále častěji se tak budou lidé setkávat s pojmy jako např. ekodesign nebo humanizace osvětlení.

Zmíněný prudký rozvoj technických prostředků má kromě jiného i jeden nepříjemný důsledek, pomalou zpětnou vazbu, která by měla dokumentovat účelnost nových technických prostředků a jejich celkový přínos. Na první pohled dokonalé a lákavé parametry nových osvětlovacích prostředků v oblasti světelných zdrojů a svítidel se mohou ukázat po uvedení do praxe jako nedosažitelné a nadhodnocené. Navíc mohou s sebou nést mnoho nových problémů, které u starších výrobků vůbec neexistovaly, jako např. extrémně vysoký jas světelných diod LED. V oblasti měření spotřeby elektrické energie lze objektivně posoudit přínos jednoduchým měřením. Co se týče dosažené kvality osvětlení, resp. vyhodnocení celkového pohledu na stav osvětlení, neexistuje jednotná a obecně platná unifikovaná metoda. Při navrhování osvětlení se sledují tři klíčové veličiny – osvětlenost, index oslňení a index podání barev. U posledního parametru se požadavek plní volbou vhodného světelného zdroje, přičemž je třeba se spolehnout na měření a deklaraci výrobce. Udržovaná osvětlenost se kontroluje, resp. měla by se kontrolovat, při uvádění stavby (prostoru) do provozu. Jelikož nelze přímo změřit udržovanou osvětlenost, měří se pouze počáteční osvětlenost, tj. zjišťuje se, zda byly dodrženy všechny parametry návrhu osvětlení podle požadavku normy [1].

To, co se s jistotou neměří, je index oslňení podle metodiky UGR. Důvodem je vysoká pracnost měření v praxi, takže v podstatě všechny osvětlovací soustavy spoléhají na výstup z výpočetního programu, který byl pro vypracování návrhu použit. Avšak žádný program ve fázi návrhu nemůže brát ohled na reálné parametry prostoru, aby vypočetl např. jas pozadí (adaptační jas) nebo reálně určil aktivní plochy oslňujících zdrojů – ty jsou čerpány z velmi omezených parametrů v elektronické podobě – údajů o svítidlech [3]. Je tedy téměř jisté, že navržená a skutečná hodnota indexu oslňení UGR se neshodují. Co však s jistotou říci nelze,



Obr. 1. Digitální fotoaparát Kodak DCS-100 [10]

je odchylka v konkrétním případě. Jediným řešením je UGR změřit, resp. vypočítat z naměřených údajů. K tomu je ale zapotřebí přístroj, který změří jasy jak zdrojů, tak všech ploch, ze kterých se vypočítá průměrný jas. Dále je třeba změřit prostorový úhel a polohu oslňujících zdrojů, což je opět nelehká úloha. Jediný dosud známý způsob, jak tyto hodnoty naměřit, poskytuje digitální fotografie.

UGR je jen špičkou pomyslného ledovce, který by bylo třeba zmapovat, aby bylo možné v pomyslném moři řešení vybrat to správné a ideální pro daný prostor či činnost. To, co se skrývá pod hladinou, jsou dílčí měření a výpočty, úpravy dat a jejich prezentace – pro získání všech potřebných údajů o prostoru. A ani UGR nemusí být cílovým atributem; nic lepšího však zatím celosvětově používáno

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

není, takže na případnou změnu je třeba si ještě určitou dobu počkat.

Tento příspěvek informuje o pokroku v posledních několika letech v oboru digitální fotografie, přístrojové měřicí techniky a softwarové podpory, jejichž pomoc je potřebná k dosažení obdobných, v podstatě běžně a rutinně vykonávaných měření.

Základní vlastnosti digitální fotografie

Připomeňme zde v krátkosti možnosti, které v oblasti měření jasu nabízí digitální fotografie, resp. digitální fotoaparáty. Snímač digitálního fotoaparátu obsahuje miliony až desítky milionů světlocitlivých buněk – pixelů –, které se skládají z ještě menších buněk – subpixelů. Každý typ subpixelu má svou specifickou spektrální citlivost, a tudíž je schopen rozlišit barevný vjem dopadajícího světla. Ve většině případů se používá kolorimetrická soustava RGB, ojedinelé i CGMY (cyan, green, magenta, yellow). Vhodnou kalibrací je možné získat citlivostní funkce, které dostatečně přesně popisují, jaká je odezva signálu jednotlivých buněk na dopadající světlo, tzn. že je možné zpětně ze změřeného signálu vypočítat původní jas plochy, kterou zachytil ten či onen pixel. Detaily zde nebudou více rozebírány a je pochopitelné, jako u každého

fotometrického měření, že i tato metoda má určité chyby, resp. nejistoty měření jasu, popř. jiných veličin. Cílem článku je ukázat, že bez ohledu na přesnost měření je možné z digitální fotografie získat údaje, které jsou významné pro další využití v hodnocení osvětlovacích soustav, a že jejich význam převyšuje případné nedostatky ve vlastním měření.

Digitální fotografie není nic jiného než datový záznam obrazu původní scény. Každý obrazový bod má svůj originální vzor v původní scéně. Uvědomme si, s jakou věrností jsou dnes digitální fotografie reprodukovány, a poté je zřejmé, že přesnost měření, resp. přizpůsobení zobrazování chování lidského oka, je téměř dokonalá. V praxi laik rozezná kvalitní a nekvalitní fotografii, tj. fotografii s přirozeným podáním barev, s ostrou kres-

bou, vysokým obsahem detailů, správnou dynamikou, od fotografie, kde tyto ukazatele chybějí. Kvalitní fotoaparát tedy pracuje (musí pracovat) jako velmi přesný měřicí přístroj, který dokáže analyzovat a zaznamenat obraz tak, aby byl pro pozorovatele maximálně věrný. Klíč k úspěchu tedy tkví ve správném zpracování naměřených hodnot. Ve fotometrii půjde zejména o získání relevantních hodnot jasu.

Díky precizní geometrické struktuře snímacích čipů a fotografických objektivů přináší digitální fotografie ještě jeden významný faktor z hlediska měření – velice přesný měřicí polohy. Jelikož z fotografie není možné přímo určit rozměry, je třeba se omezit pouze na úhlové souřadnice, avšak z hlediska vidění je tato reprezentace výhodnější, neboť umožňuje přímo měřit prostorový úhel nebo pozici pro výpočet činitele polohy.

Měření polohy je zatíženo mnohem menšími chybami než měření jasu. Pomocí vhodné kalibrace je možné získat téměř přesnou transformační funkci, která popisuje zobrazení objektivu. Z digitálního obrazu je pak možné zpětně velmi přesně měřit úhly, pod kterými je daný bod prostoru vidět. Pro představu: digitální fotoaparát Nikon D90 s čipem o rozlišení $4\,288 \times 2\,848$ (12 Mpx) a normálním objektivem ($f = 50\text{ mm}$) zaznamená polohu s přesností lepší než 0,01 stupně (0,006 2 pro standardní kinofilmový objektiv, 0,009 2 pro přečtený normální objektiv na velikost čipu). Ve vzdálenosti 10 m tak lze zaznamenat detaily o velikosti asi 2 mm, což je vysoká přesnost – přesahuje možnosti zraku běžného pozorovatele. Problémem se tak stává spíše výchozí pozice přístroje a jeho směřování, tj. umístění kontrolního pozorovatele.

Vývoj přístrojové techniky

Digitální fotoaparáty představují relativně nový způsob záznamu obrazu, přestože jejich počátky sahají až do roku 1970, kdy byl čip CCD použit pravděpodobně pro první kameru s polovodičovým snímacím prvkem.

První pokus o vytvoření digitálního fotoaparátu uskutečnila v roce 1975 firma Eastman Kodak, která do svého přístroje použila nový prvek CCD vyvinutý v roce 1973 firmou Fairchild Semiconductor. Tento fotoaparát byl pouze černobílý s rozlišením přibližně 10 tis. obrazových bodů a data byla ukládána na magnetofonový pásek. Záznam jednoho snímku proto trval přibližně 20 s. Ruku v ruce se složitostí šla i hmotnost přístroje, která na svůj výkon činila úctyhodných 3,6 kg. Tento produkt se však nikdy nedočkal komerčního prodeje a zůstal jen jako prototyp. Dalším přístrojem, který byl mil-

níkem ve vývoji digitálního fotoaparátu, byl Fuji DS-1P, vyvinutý v roce 1988. Ukládal snímky jako opravdový obrazový počítačový soubor do své 16 MB bateriově napájené paměti, ale jako jeho předchůdce nebyl nikdy komerčně vyráběn. To se změnilo až s digitální zrcadlovkou Kodak DCS-100 uvedenou na trh v roce 1991. Nabízela již rozlišení 1,3 megapixelů a stála přibližně 20 000 amerických



Obr. 2. Digitální fotoaparát Casio QV-10 [11]

dolarů. Byla postavena na těle filmové zrcadlovky Nikon F3 (dokonce bylo zachováno i původní firemní logo Nikon, viz obr. 1), kde místo filmu byl integrován snímač CCD. I zde byla data ukládána na bateriově napájenou paměť, reprezentovanou pevným diskem [10].

Displej na digitálním fotoaparátu, který zobrazoval právě fotografované snímky, se objevil až v roce 1995 na přístroji Casio QV-10 (obr. 2). O rok později byl vyvinut fotoaparát (Kodak DC-25), jenž už uměl zapisovat na karty typu Compact Flash [10].

Zlomový okamžik v oblasti digitálních fotoaparátů přišel až v roce 1999, kdy firma Nikon představila model Nikon D1. Byla to první jednooká digitální zrcadlovka, samostatně vyvinutá tradičním výrobcem a s cenou nižší než 6 000 dolarů (to byla přijatelná cena pro tehdejší profesionální fotografy). Fotoaparát používal objektiv s bajonetem Nikon F, díky kterému bylo možné využívat již existující výbavu.

Potěšující zpráva pro všechny amatérské fotografy přišla v roce 2003, kdy firma Canon představila model EOS 300D s rozlišením 6 MPx, jehož cena se dostala pod hranici 1 000 dolarů.

Dnešní fotoaparáty z oblasti jednookých zrcadlovek disponují snímači s počtem bodů řádově desítky milionů a dynamikou záznamů až 14 b, což odpovídá asi 16 tis. rozlišitelných úrovní jasu v jediném snímku. Díky velmi kvalitní optice lze zaznamenat detaily, které lidské oko již nerozliší.

Vývoj softwarových nástrojů

Zpracování digitální fotografie bez patřičných softwarových nástrojů není vlastně možné. Digitální fotografie je v podstatě datový proud informací, který je určen k reprodukci zaznamenaného snímku do podoby člověkem vnímaného obrazu, tudíž je zpracováván aplikačním programem, který umí data dekodovat do potřebné podoby. Pro účely jasové analýzy jde v zásadě o to, porozumět významu uložných dat a nereprodukovat je do podoby obrazu, ale do podoby hodnot jasů. Tyto hodnoty jasů lze zobrazovat, např. pomocí barevných palet, které ze snímku vytvoří jasovou mapu v definované škále barev.

Vývoj softwarových nástrojů lze sledovat dobře snad pouze v oboru softwaru pro úpravu fotografií. Pro jasové účely existuje množství proprietárních řešení, která většinou nejsou ani běžně dostupná. Používají se i jiné softwarové nástroje, které obsahují matematický aparát pro práci s digitálními obrazy, jako např. program Matlab s extenzí Image Processing Toolbox. Avšak použití všech těchto nástrojů je velmi komplikované, zejména pro běžného uživatele, a proti hovoří i pořizovací cena.

Asi nejpropracovanější systém nabízí firma TechnoTeam (DE) v podobě programu LMK LabSoft [6]. Tento program je v současné době možné používat zřejmě pouze ve spojení se zakoupenými analyzátoři jasu této firmy.

Další alternativou jsou dva softwarové produkty, a to program Desktop Radiance [4] a Photosphere [7]. Program Desktop Radiance je určen pro platformu Unix a je poskytován pod licencí open source, tj. se zdrojovými kódy. Je určen pro simulace světelných scén za použití metody raytracing a mimo tyto možnosti disponuje funkcemi pro zpracování fotografií HDR (z anglického *High Dynamic Range*). Snímky lze do programu importovat ve formátech RGBE, TIFF, což jsou formáty umožňující ukládání fotografií HDR. Jelikož program sám generuje uvedené formáty ze simulace, lze takto importovaná nebo vypočtená data publikovat jako jasové mapy s měřítkem v pseudobarvách.

Program Photosphere je v podstatě pouze prohlížeč fotografií HDR a je určen jen pro platformu Mac OS X. Je sice nabízen také zdarma, ale vlastně kromě prohlížení a publikování snímků neumožňuje žádná další výpočty.

Program, na který se následující text zaměří podrobněji, se jmenuje LumiDISP a je vyvíjen na pracovišti ústavu elektroenergetiky Vysokého učení technického v Brně jako dlouhodobý projekt financovaný z projektů vědy a výzkumu a finančních prostředků z prodeje licencí koncovým uživatelům. Od počátku byl

vyvíjen s cílem vytvořit univerzální nástroj pro práci s obrazovými daty, což se v podstatě podařilo realizovat. Program je určen pro platformu operačních systémů Windows včetně poslední verze Windows Vista. Jeho schopnosti v téměř všech attributech předstihují všechny zmíněné nástroje, neboť kromě funkce prohlížení a publikování výsledků výpočtů obsahuje obecný matematický procesor, kterým je možné se snímky libovolně manipulovat, a to ve všech souřadnicích (geometrických a jasových, i jednotlivých RGB, popř. jiných vypočtených kanálech). Díky databázové platformě je možné snadno sdílet společné projekty v prostředí internetu a pracovat nad společnými daty současně s více uživateli. Podrobnější informace budou popsány v následujícím textu a další detaily je možné najít na webových stránkách produktu [5].

Digitální jasoměr s pokročilým softwarem

Měření jasů konvenčním jasoměrem není složité, ba naopak – s pomocí digitálních přístrojů je velmi jednoduché. Nejsložitější částí z měření bývá výběr měřicích bodů a pozice pozorovatele. Umístí-li se jasoměr do zvolené pozice, pomocí hledáčku se vyhledá měřený bod, resp. plocha, stiskne se tlačítko zahájení měření a po vteřině je údaj o jasů na displeji. Problém tak není s hodnotou jasů, ale s určením místa, kde byl jas měřen. Buď si lze pohled vyfotografovat a zakreslit do fotografie místo měření, a nebo by bylo nutné složitě specifikovat pracovní souřadný systém a vytyčit souřadnice místa měření.

S použitím digitální fotografie a následného softwarového zpracování je těchto problémů uživatel ušetřen. Jednak je fotografie pořizována vždy, takže je k dispozici přesný pohled na měřenou scénu, a jednak lze z fotografie následně určit potřebnou polohu v libovolných souřadnicích, např. úhlových od směru pohledu. Na rozdíl od klasického jasoměru, který má obvyklý zorný úhel 1 stupeň a měřená plocha je kruhová, u softwarové jasové analýzy je možné si zvolit detektor v podstatě libovolný. Může to být kruh, čtverec, čára nebo jakýkoliv polygon, kterým se ohraničí libovolná plocha – požadovaný region.

Díky velkému množství naměřených hodnot (dnes řádově desítky milionů) je k dispozici kvantitativně nesrovnatelně větší zdroj dat. Je tak možné vypracovávat podrobné statistiky v celém obraze a nebo jen ve vybraném regionu (detektoru). O těchto možnostech se běžně ví, a není tedy třeba další, podrobnější komentář. Tím ale možnosti nekončí.

Zajímavou funkcí softwarového řešení je možnost realizovat rozsáhlejší aplikace na koncepci klient-server. Jelikož program LumiDISP [5] používá databázový model pro ukládání veškerých dat, je možné v jediný okamžik data do databáze ukládat a zároveň jiná data načítat třeba na jiném počítači. Speciální programy tak mohou např. v pravidelných intervalech pořizovat fotografie, jiný program pořizované fotografie analyzuje a převede na jas a další program na základě těchto údajů vykoná další kroky, např. upraví parametry osvětlení. Zatím se jako velmi užitečná jeví zejména schopnost pracovat s jedněmi daty z více míst; může je zpracovávat

více pracovníků bez nutnosti kopírovat je na lokální počítač a zase je ukládat zpět.

Často opomíjenou, nesprávně řešenou a používanou oblastí je druhý rozměr digitální fotografie, a tím je geometrie obrazu. Doplnění informace o poloze obrazových bodů je neméně důležitý atribut zpracování digitální fotografie jako měření jasů. Zejména ve chvíli, kdy se data používají např. k posuzování průměrných hodnot apod., není možné zvolit prosté průměrování hodnot získaných z jednotlivých pixelů. Každý obrazový bod má totiž jiný prostorový úhel a je velký omyl, když se ekvidistantní zobrazení objektivů považuje za ideální.

Například v programu LumiDISP [5] jsou integrovány funkce pro libovolnou manipulaci s obrazem, takže je možné zdrojové snímky transformovat do vhodnějších souřadnic, kde je již průměrování možné, tj. souřadnic, kde každý obrazový bod zaujímá konstantní prostorový úhel [13]. U ekvidistantní projekce prostorový úhel jednotlivých bodů u objektivu typu rybí oko kolísá v poměru až 1:1,5!

Kdyby bylo třeba měřit průměrný jas na hodnocené ploše, je nutné znát geometrii této plochy a přiřadit každému obrazovému bodu příslušnou váhu odpovídající velikosti plochy na sledovaném objektu. Pak se průměrný jas vypočítá jako vážený průměr jasů získaných ze sledovaného objektu. Tato operace již zpravidla vyžaduje trojrozměrnou (3D) projekci a lze očekávat, že v nejbližší době bude analýza v 3D prostoru když ne úplně běžná, tedy dostupná v promyšlených nástrojích, podobně jako tomu bylo s nástupem techniky HDR.

(pokračování v příštím čísle)

Veškerá svítidla pro osvětlení venkovních i vnitřních prostorů, sportovních a průmyslových objektů, hřišť, parků a pod.

- výroba svítidel
- výroba předradníkových skříní
- opravy a úpravy svítidel, kompletní elektromontáž
- prodej komponentů pro výbojové zdroje (tlumivky, zapalovače, kondenzátory)
- prodej svítidel od zahraničních partnerů z Itálie



Ing. Jaroslav Blahuta
Horní 3030/96, 700 30 Ostrava – Bělský Les

Provozovna
Lešetinská 47, 719 00 Ostrava – Kunčice
tel.: 00420 596 241 161, tel./ fax: 00420 595 682 236
mobil: 774 110 757, 605 436 095
e-mail: blahuta@blahuta-elektro.cz, www.blahuta-elektro.ostravsko.com

