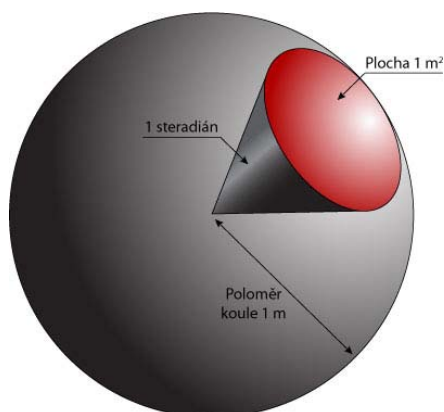


Měření prostorového úhlu

Cíle kapitoly: Laboratorní úloha se zabývá měřením prostorového úhlu pomocí digitálního fotoaparátu. Cílem úlohy je ukázat možný způsob měření včetně početního porovnání výsledků.

Úvod a teoretický rozbor úlohy

Prostorový úhel je veličina, která s popisem světla na první pohled nesouvisí, ale ve fotometrii hraje významnou roli, neboť přímo figuruje ve vztahu pro výpočet svítivosti. Prostorový úhel značíme řeckým písmenem Ω s jednotkou jeden **steradián** [sr]. Číselně je tato veličina rovna ploše, kterou vytne kuželosečka na povrchu jednotkové koule (koule o poloměru 1 m), jejíž střed je totožný s vrcholem kuželosečky. Za pomoci vztahu pro výpočet plochy kulového vrchlíku lze odvodit vztah pro výpočet velikosti prostorového úhlu kulového vrchlíku (1) a kulového pásu (2).



$$\Omega = 2 \cdot \pi \cdot (1 - \cos \alpha) \quad (1)$$

$$\Omega = 2 \cdot \pi \cdot (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) \quad (2)$$

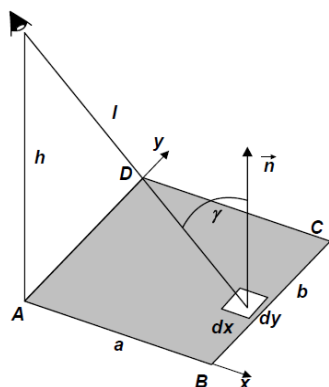
Obr. 1. – Znázornění steradiánu [1]

Ve vztazích (1) a (2) znázorňuje α úhel, který svírá plášť kužele s osou jeho rotace. Z výše uvedeného vztahu (1) plyne, že maximální číselná velikost prostorového úhlu je pro celý prostor 4π tj. 12,566... což odpovídá úhlu $\alpha=180^\circ$.

Element prostorového úhlu $d\Omega$, pod nímž je vidět element plochy dS z bodu P obecné plochy S ve vzdálenosti l , se vypočte ze vztahu (3)

$$d\Omega = \frac{dS \cdot \cos \gamma}{l^2} \quad (3)$$

kde γ je úhel, svírající normála elementu dS s osou elementárního prostorového úhlu
 l je vzdálenost od bodu pozorování P ke středu elementární plošky dS .



Za pomoci vztahu (3) lze vypočítat prostorový úhel libovolné plochy, neboť celkový prostorový úhel je dán integrálem této funkce přes celou uvažovanou plochu.

$$\Omega = \iint_S \frac{\cos \gamma}{l^2} dS \quad (4)$$

Bude-li integrovaná plocha pozorována kolmo nad jedním jejím rohem (Obr. 2), bude integrace vypadat následovně:

Obr. 2. – Integrace plochy [2]

Vzdálenost l vypočítáme podle rovnice (5) jako

$$l = \sqrt{x^2 + y^2 + h^2} \quad (5)$$

funkci kosinus můžeme nahradit poměrem délek h a l

$$\cos \gamma = \frac{h}{l} \quad (6)$$

a potom vztah (3) nabude tvaru

$$d\Omega = \frac{h \cdot dx \cdot dy}{\left(\sqrt{x^2 + y^2 + h^2}\right)^3} \quad (7)$$

Integrací (7) přes celou plochu S získáme zápis integrálu

$$\Omega = \int_{x=0}^a \int_{y=0}^b \frac{h \cdot dx \cdot dy}{\left(\sqrt{x^2 + y^2 + h^2}\right)^3} \quad (8)$$

jehož řešením je následující vztah

$$\Omega = \operatorname{arctg} \frac{a \cdot b}{h \cdot \sqrt{a^2 + b^2 + h^2}} \quad (9)$$

Užitím vztahu (9), lze snadno vypočítat prostorový úhel libovolné plochy, u které známe její rozměry a výšku pozorování h . V případě počítání prostorového úhlu plochy, jejíž pozorovatel leží mimo její roh, lze tuto plochu rozdělit nebo doplnit tak, aby její části byly umístěny vůči pozorovateli kolmo nad jejich rohy. Proto je vztah (9) klíčovým pro výpočet prostorového úhlu [2], [3].

Pro přímé měření prostorových úhlů lze s výhodou užít digitálního fotoaparátu umístěného na místě pozorovatele. Z obrazu zaznamenaného na fotografii lze velmi snadno odečíst prostorový úhel jakéhokoliv objektu, neboť každý pixel je obrazem elementárních prostorových úhlů, jejichž sečtením získáváme právě hledaný prostorový úhel. Nutnou podmínkou je znalost zobrazovací funkce objektivu, která jednoznačně popisuje pozici libovolného bodu focené scény na pořizované digitální fotografii. Pokud známe správnou ohniskovou vzdálenost, jenž mimo jiné závisí i na zaostření, a dokážeme popsat optické vady objektivu (např. sférická vada), lze velmi přesně určit úhly dopadů paprsků do objektivu, z nichž lze následně odvodit elementy prostorových úhlů $d\Omega$. Přesný algoritmus výpočtu včetně zobrazovací a kompenzační rovnice objektivu je implementován do kalibrační databáze programu LumiDISP, který lze pro měření prostorových úhlů s výhodou použít.

Úkol měření

Pomocí digitálního fotoaparátu a softwaru LumiDISP změřte a vyhodnoťte prostorové úhly zadaných ploch (*zadá učitel*) a výsledky ověřte výpočtem.

Porovnejte rozdíly mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami a tyto odchylky vyčíslíte.

Postup měření

1. Zkontrolujte propojení fotoaparátu a PC, zapněte potřebné přístroje a sundejte krytku z objektivu.
2. Zkontrolujte, zda je na fotoaparátu nastaven manuální režim [4]
3. Spusťte program LumiDISP
4. Založte nový projekt (File/New project)



5. Vytvořte nový záznam stiskem tlačítka New (trojice tlačítek New, Modify, Delete), záznam pojmenujte a stiskněte tlačítko OK
6. Nastavte digitální fotoaparát do požadované polohy, запиšte si všechny potřebné vzdálenosti a rozměry měřené scény
7. V programu LumiDISP spusťte modul pro import obrázku z fotoaparátu (Source/Import image)
8. Z nabídky Device vyberte správný typ fotoaparátu
9. V nabídce Destination zvolte Workspace pro přímé zobrazení snímku na obrazovce! Položka Database je vhodná pro focení více obrazů, které se ukládají přímo do databáze bez zpracování (vhodné pro pozdější zpracování)
10. Nastavte správnou expozici pomocí parametrů Shutter, Aperture, ISO a další parametry (ISO aut. control = Off, Noise red. = Off, Flash = Normal, Compression = RAW, Size = L)
11. Před exponováním si je možné scénu prohlédnout pomocí tlačítka Preview
12. Je-li snímek správně exponovaný zakreslete kolem měřených objektů hranice (objekt POLYGON; ukončení výběru = ESC). V Tool option můžete měnit parametry objektu např. tloušťku a barvu čáry.
13. Snímek přeložte (Source/Channels/Geometry channel, subsampling = 1x1, channel = create new OMEGA channel, a potvrdit OK)
14. Zobrazte histogram (View/Histogram)
15. Zatrhnete políčka v pořadí: Bars, Selection only a OMEGA
16. Vyberte postupně zakreslené polygony na obrázku poklepáním myši a odečtěte v řádku SUMA (pod histogramem) měřený prostorový úhel (zobrazení je ve steradiánech)
17. Snímek si uložte na disk (Source/Save to disk) a vložte do protokolu
18. Přístroje vypněte a nasad'te krytku na objektiv
19. Ověřte výsledky výpočtem, vyhodno'te odchylky a zpracujte protokol



Zpracování výsledků

Z průběhu měření zpracujte protokol se všemi náležitostmi. Všechny změřené a vypočtené hodnoty zpracujte přehledně formou tabulky a uveďte vzorový příklad výpočtu jednoho z objektů. Do protokolu vložte popsany obrázek scény. Nezapomeňte na seznam použitých přístrojů. Budete-li k tvorbě protokolu užívat literární prameny, pamatujte na správné citování a vyvarujte se plagiátorství!

Závěr

Zhodno'te změřené výsledky, pokuste se vysvětlit možné příčiny odchylek mezi změřenými a vypočtenými hodnotami.

Literatura

- [1] ATARION, s.r.o. *Lumen versus kandela* [online]. 2008-9 [cit. 2012-02-12]. Dostupné z: <http://www.led-moduly.cz/lumen-versus-kandela.html>
- [2] BAXANT, Petr. *Světelná technika: Elektronický text*. Brno: VUT v Brně.
- [3] HABEL, Jiří. A KOL. *Světelná technika a osvětlování*. Praha: FCC PUBLIC, 1995. ISBN 800-901985-0-3.
- [4] NIKON. *Digitální fotoaparát D90: Návod k obsluze*. 2008.