

Barevné polarizační zobrazování pro bioaplikace rešerše

Prokop Beneš

Prosinec 2024

Obsah

1	Úvod	3
2	Polarizace	4
3	Aplikace Polarizace	7
4	Získání dat z polarizační kamery	8
	Literatura	9

1 Úvod

Barevné polarizační zobrazování představuje inovativní přístup k analýze optických vlastností materiálů, který se stále více prosazuje v mnoha oborech a to i v medicínských tak i biologických aplikacích. Využití polarizace světla umožňuje získávat informace o strukturálních a povrchových vlastnostech vzorků, které jsou běžnými metodami prakticky nedostupné. [6]

Tato práce si klade za cíl teoreticky zpracovat problematiku barevného polarizačního zobrazování z pohledu fyziky a prozkoumat jeho možnosti v biologických aplikacích, zejména při studiu rostlinných vzorků. V této práci bude využita polarizační kamera BFS-U3-51S5PC-C s integrovaným senzorem Sony IMX250MYR, přičemž se zaměříme na její schopnost snímat a kombinovat polarizační a barevná obrazová data. [4][5][7]

2 Polarizace

Elektromagnetické vlny mají velmi široký spektrální interval. My budeme uvažovat elektromagnetické vlnění pro nás viditelné. Tento interval elektromagnetického vlnění se nachází v intervalu přibližně 380 - 720nm. O elektromagnetickém vlnění v tomto intervalu budeme mluvit jako o světle. [2]

Elektromagnetická postupná vlna je vlna příčná, což znamená, že elektrické a magnetické pole jsou kolmé na směr šíření. To znamená, že existuje dva nezávislé směry pro vektory těchto polí, mluvíme o dvou nezávislých. My se zaměříme na popis elektrické složky vlny \vec{E} , protože vektor magnetické složky \vec{B} je určena vztahem $\vec{B} = \frac{1}{v} \vec{s} \times \vec{E}$, kde \vec{s} je vektor udávající směr šíření. Když zvolíme souřadný systém tak, že směr šíření je $\vec{s} = z$. Pak můžeme jako bázi příčné roviny, ve které se nachází \vec{E} , použít osy x a y . Obecný vektor elektrického pole pak lze rozložit na složky směřující podél souřadných os.

$$\vec{E} = E_x \vec{x} + E_y \vec{y} \quad (2.1)$$

Pokud budeme uvažovat harmonické postupné vlny, můžeme díky principu superpozice zvolit vlnu s různou amplitudou a s různým fázovým posunem:

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = E_{x0} e^{i(\omega t - kz + \varphi_1)} \vec{x} + E_{y0} e^{i(\omega t - kz + \varphi_2)} \vec{y} \quad (2.2)$$

Fázový rozdíl těchto dvou složek můžeme vyjádřit jako

$$\delta\varphi = (\omega t - kz + \varphi_1) - (\omega t - kz + \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (2.3)$$

ten nezávisí ani na čase ani na poloze v prostoru. Zvolíme si libovolné místo v prostoru jako $z = z_0$, můžeme sledovat časový průběh elektrického pole $\vec{E}(t) = \vec{E}(z_0, t)$

$$\vec{E}(t) = E_{x0} \vec{x} e^{i(\omega t + \varphi'_1)} + E_{y0} \vec{y} e^{i(\omega t + \varphi'_2)} \quad (2.4)$$

kde $\varphi'_i = \varphi - kz_0$. Znovu tedy platí to samé pro rozdíl fází

$$\delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \varphi'_1 - \varphi'_2 = (\varphi_1 - kz_0) - (\varphi_2 - kz_0) \quad (2.5)$$

Z toho tedy vyplývá, že pro fázový rozdíl není důležité, ve kterém místě budeme průběh elektrického pole sledovat. Není třeba se zabírat konkrétními hodnotami fází, rozlišujeme pouze jejich rozdíl $\delta\varphi$. Reálná část rovnice (2.4) má tvar:

$$\vec{E}(t) = E_{x0} \vec{x} \cos(\omega t + \varphi_1) + E_{y0} \vec{y} \cos(\omega t + \varphi_2) \quad (2.6)$$

je parametrickou rovnicí elipsy. Vektor elektrického pole \vec{E} tedy v daném místě opisuje křivku, která má tvar elipsy. Tato elektromagnetická vlna je tedy elipticky polarizovaná.

Vlny tvaru (2.4), můžeme psát pomocí komplexního vektoru o dvou složkách $\hat{\vec{E}} \in \mathbb{C}^2$,

$$\vec{E}(z, t) = (E_{x0} e^{i\varphi_1} \vec{x} + E_{y0} e^{i\varphi_2} \vec{y}) e^{i(\omega t - kz)} = \hat{\vec{E}} e^{i(\omega t - kz)} \quad (2.7)$$

$$\hat{\vec{E}} = \begin{pmatrix} \hat{E}_1 \\ \hat{E}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_{x0} e^{i\varphi_1} \\ E_{y0} e^{i\varphi_2} \end{pmatrix} \in \mathbb{C}^2 \quad (2.8)$$

Jeden pro nás velmi důležitý speciální případ je vlna, která je lineárně polarizovaná. Ta nastává, pokud vektor elektrické intenzity \vec{E} kmitá jedním daným směrem.

Tento případ nastává pro fázový posun $\delta\varphi \in \{0, \pi\}$, což pak můžeme zapsat jako

$$\vec{E} = E_0 \vec{n} e^{i(\omega t + \varphi)} \quad (2.9)$$

neboli

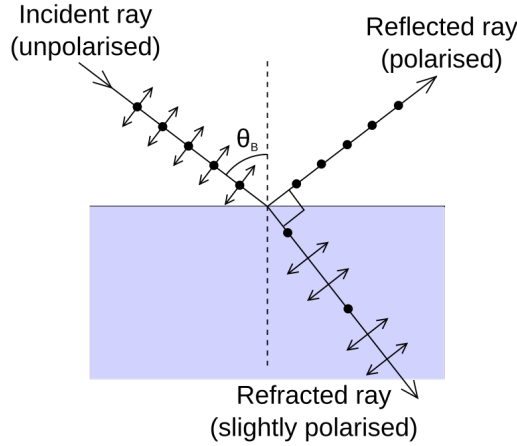
$$\vec{E} = E_0 \vec{n} e^{i\varphi} = E_0 \begin{pmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{pmatrix} e^{i\varphi} \quad (2.10)$$

kde jednotkový vektor $\vec{n} = (n_x, n_y) = (\cos \theta, \sin \theta)$ znázorňuje směr kmitání elektrického pole $\vec{E}(t)$ v rovině xy a úhel θ značí odklon tohoto vektoru od osy x . [3]

Jedním z nejobvyklejších způsobů kde se v životě potkáme s polarizovaným světlem je běžná polarizace odrazem. Tento proces vychází ze Snellova zákona následujícím způsobem:

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t \quad (2.11)$$

je Snellův zákon a n_1 a n_2 značí index lomu daného prostředí v kterém se světlo šíří. θ_i je úhel dopadu, θ_t je úhel lomu. Úhlu pod kterým musí světlo dopadnout aby bylo lineárně polarizováno se říká úhel Brewsterův.



Pro něj platí že $\theta_i + \theta_t = 90^\circ$, tedy, že úhel dopadajícího, tedy i odraženého světla musí svírat se světlem lomeným úhel devadesáti stupňů. Tedy $\theta_t = 90^\circ - \theta_i$ dosadíme do Snellova zákona.

$$\begin{aligned} n_1 \sin \theta_i &= n_2 \sin(90^\circ - \theta_i) \\ n_1 \sin \theta_i &= n_2 \cos \theta_i \end{aligned} \quad (2.12)$$

což nám po úpravě dá

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \theta_i}{\cos \theta_i} \quad (2.13)$$

neboli

$$\tan \theta_i = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.14)$$

Kde námi požadovaný Brewsterův úhel dostaneme jako

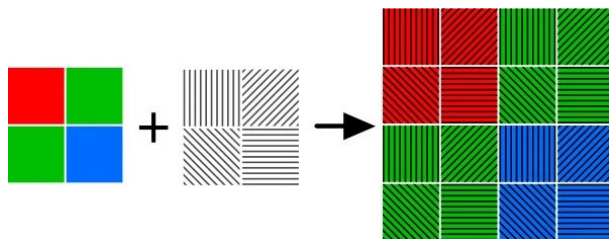
$$\theta_B = \arctan \frac{n_2}{n_1} \quad (2.15)$$

Nepolarizované světlo dopadající pod tímto úhlem se od rozhraní odráží pouze se složkou kolmou k rovině rozhraní. [1]

Takto lineárně polarizované světlo pro nás bude v následujícím textu velmi důležité. Na princip lineárně polarizovaného světla totiž stojí princip naší barevné polarizované kamery BFS-U3-51S5PC-C

3 Aplikace Polarizace

Senzor kamery s kterou pracujeme má na svém senzoru mikrostrukturu, která se chová jako polarizátor přicházejícího světla, jelikož je jeho rozměr dostatečně malý na to, aby jím prošla jen určitá složka světla v daném úhlu podle úhlu samotného polarizátoru. Senzor samotný má každý pixel sestaven ze čtyř pod-pixelů kde každý z nich má přes sebe jiný úhel polarizátoru a to 90° , 45° , 135° , 0° podle směru hodinových ručiček začínaje vlevo v rohu.



4 Získání dat z polarizační kamery

Literatura

- [1] Hecht E., *Optics*, 4th Ed, Pearson, 2002
- [2] Malý P., *Optika*, Nakladatelství Karolinum, 2008
- [3] Schmidt J., *Vlnění, optika a atomová fyzika*, <https://physics.fjfi.cvut.cz/~schmijos/voaf/skriptaVOAF.pdf>
- [4] <https://www.flir.eu/globalassets/support/iis/knowledge-base/getting-started-with-bfs-polarized-cameras.pdf>
- [5] <https://www.teledynevisionsolutions.com/learn/learning-center/machine-vision/imaging-reflective-surfaces-sonys-first-polarized-sensor/>
- [6] https://www.photonics.com/Articles/Polarization-Based_Imaging_Basics_and_Benefits/a60734
- [7] https://www.sony-semicon.com/files/62/flyer_industry/IMX250_264_253MR_MYR_Flyer_en.pdf