Barevné polarizační zobrazování pro bioaplikace
rešerše

Prokop Beneš

Prosinec 2024

Obsah

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.
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.

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.
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.

$$\vec{E} = E_x\vec{x} + E_y\vec{y} \tag{2.1}$$

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

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

Fázový rozdíl těchto dvou složek můžeme vyjádřit jako

$$\delta\varphi = (\omega t - kz + \varphi_1) - (\omega t - kz + \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2 \tag{2.3}$$

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 $\vec{E}(t) = \vec{E}(z_0, t)$

$$\vec{E}(t) = E_{x0}\vec{x}e^{i(\omega t + \varphi_1')} + E_{y0}\vec{y}e^{i(\omega t + \varphi_2')} \tag{2.4}$$

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

$$\delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \varphi_1' - \varphi_2' = (\varphi_1 - kz_0) - (\varphi_2 - kz_0) \tag{2.5}$$

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

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

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 $\hat{\vec{E}} \in \mathbb{C}^2$,

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

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

Jeden pro nás velmi důležitý speciální případ je vlna, která je lineárně polarizovaná. Ta nastává, pokud vektor elektrické intenzity $\vec{E}$ kmitá jednom daném směru.
Tento případ nastává pro fázový posun $\delta\varphi \in \{0, \pi\}$, což pak můžeme zapsat jako

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

neboli

$$\hat{\vec{E}} = E_0 \, \vec{n} \, e^{i\varphi} = E_0 \begin{pmatrix} \cos\theta \\ \sin\theta \end{pmatrix} e^{i\varphi} \tag{2.10}$$

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.
Takto lineárně polarizované světlo pro nás bude v následujícím textu velmi důležité.

3 Aplikace Polarizace