

**UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” din BUCUREŞTI**  
**ȘCOALA DOCTORALĂ ETI-B**

Nr. Decizie 532 din 28.07.2020

**REZUMAT**  
**TEZĂ DE DOCTORAT**

**CONTRIBUȚII LA STUDIUL SISTEMELOR OPTICE DIN  
APARATURA OPTOELECTRONICĂ CU APLICATII**

**CONTRIBUTIONS TO THE STUDY OF OPTICAL SYSTEMS  
IN OPTOELECTRONIC DEVICES WITH APPLICATIONS**

Doctorand: **ing. Gheorghe Bostan**

**COMISIA DE DOCTORAT**

Președinte	<b>Prof. Dr. Ing. Ion MARGHESCU</b>	de la	Universitatea Politehnica din București
Conducător de doctorat	<b>Prof. Dr. Ing. Paul STERIAN</b>	de la	Universitatea Politehnica din București
Referent	<b>Prof. Dr. Fiz. Doina Mănilă MAXIMEAN</b>	de la	Universitatea Politehnica din București
Referent	<b>Prof. Dr. Ing. Mihaela BARITZ</b>	de la	Universitatea Transilvania din Brașov
Referent	<b>C.S.I. Dr. Fiz. Mihai Lucian PASCU</b>	de la	Institutul Național pentru Fizica Laserilor, Plasmei și Radiațiilor, Măgurele- București

**BUCUREŞTI 2020**



# Cuprins

<b>Capitolul 1 .....</b>	5
Introducere.	
1.1 Prezentarea domeniului tezei de doctorat .....	5
1.2 Stadiul actual al dezvoltarii sistemelor optoelectronice de inspectare video.....	6
1.3 Scopul tezei de doctorat.....	6
1.4 Continutul tezei de doctorat.....	7
<b>Capitolul 2 .....</b>	8
Principii si metode de modelare a sistemelor optoelectronice de control imagistic	
2.1 Metode de modelare numerica a sistemului imagisitic .....	8
2.2 Originea culorilor in materiale.....	10
2.3 Materiale pentru elemente de protectie utilizate in documentele protejate, metode optice de examinare .....	10
2.4 Interactiunea suprafetei cu lumina.....	11
2.5 Metode optice de verificare a documentelor.....	11
2.6 Coordonatele iluminarii spectrale.....	11
<b>Capitolul 3 .....</b>	11
Principii si metode de testare a rezolutiei optice pentru sisteme optoelectronice cu optica adaptiva	
3.1 Introducere.....	12
3.2 Functii de transfer optic (Spread functions) .....	12
3.3 Metoda marginii inclinate, slanted edge method.....	12
<b>Capitolul 4 .....</b>	13
Contributii teoretice si experimentale la dezvoltarea sistemelor optoelectronice de control imagistic	
4.1 Utilizarea Filtrelor optice de banda in combinatie cu filtre digitale in sistemul de iluminare spectrala. Metode de optimizare.....	13
4.2 Metoda de iluminare spectrala prin inlocuire surse de lumina cu arc incandescent cu surse cu LED-uri.....	13
4.3 Modelarea profilul intensitatii fluxului luminos emis de sursa de iluminare coaxiala pentru omogenizarea iluminarii regiunii de interes, diafragme de camp.....	13
4.4 Metoda de iluminare a regiunii de interes ROI a suprafetei examinate cu ajutorul LED-urilor RGB.....	13
4.5 Schema optica optimizata de eliminare a reflexiilor speculare la examinarea documentelor laminate cu plastic protector; in schema optica a aparatului de verificat documente.....	14
4.6 Dezvoltarea metodei de modularizare a schemei optice de iluminare spectrala cu ajutorul fibrelor optice de intensitate inalta.....	14
4.7 Metoda estimarii colorimetrice a obiectului de interes cu ajutorul camerei video prin caibrarea functiilor de transfer a filtrelor Bayer.....	14
4.8 Masuratori colorimetrice prin integrarea in schema optica a camerei hyperspectrale pentru examinarea suprafetelor.....	14
4.9 Utilizarea particularitatilor camerei hiperspectrale pentru analiza cernelelor stampilelor semnaturilor in documentele protejate.....	14
4.10 Amplificarea contrastului cromatic prin simulari numerice de superpozitie a spectrelor iluminantului, de reflexie a suprafetei si a spectrului de sensibilitate a camerei digitale.	15
4.11 Rezultate .....	15

4.12 Concluzii.....	17
<b>Capitolul 5 .....</b>	<b>17</b>
Contributii la dezvoltarea unor metode de testare a rezolutiei optice pentru sisteme optoelectronice cu optica adaptiva	
5.1 Metoda de estimare a corelatiei dintre rezolutia optica a lentilelor si rezolutia digitala a senzorului optic, cu cerintele schemei optice. ....	17
5.2 Rezultate privind dezvoltarea metodei marginii inclinate .....	17
5.3 Modele computerizate ale marginii inclinate – gradient de lumina, pentru dezvoltarea si optimizarea algoritmului de calcul. ....	19
5.4 Concluzii.....	19
<b>Capitolul 6 .....</b>	<b>20</b>
Concluzii Finale. Contribuții Originale. Tendințe si Perspective	
6.1 Rezultate obținute .....	20
6.2 Contributii originale .....	20
6.3 Perspective de dezvoltare ulterioară .....	22
<b>Capitolul 7 .....</b>	<b>22</b>
Listă de lucrări publicate	
1.1 Articole publicate in reviste de specialitate.....	22
1.2 Conferinte Comunicari Stiintifice.....	23
<b>Capitolul 8 .....</b>	<b>23</b>
Bibliografie	

# Multumiri

Doresc sa-mi exprim profunda consideratie si recunostinta fata de domnul profesor universitar dr. ing. Paul Sterian conducatorul stiintific al tezei de doctorat, pentru indrumarea de inalt profesionalism pe intreg parcursul activitatii mele in cadrul Scolii doctorale, in toate etapele de cercetare, cuprinse in teza, pentru discuțiile importante referitoare la pașii de urmat in cele mai diversele momente ale cercetării științifice, pentru colaborare, observații si recomandări utile la scrierea si publicarea lucrărilor științifice, fiind un bun exemplu de înaltă ținută științifică pentru mine, fără de care nu ar fi fost posibilă realizarea acestei teze de doctorat.

Multumesc cadrelor didactice de la Departamentul de Fizica al Universitatii Politehnica din Bucuresti, Dlui prof. univ.dr. Laurențiu Fara si Dnei prof. univ. dr.Doina Mănilă, pentru observațiile și sprijinul acordat pe parcursul activității mele la doctorat.

Mulțumesc D-lui dr. ing. Teodor Necsoiu, Director General Optoelectronica 2001SA pentru sustinere si posibilitatea de a folosi instrumentele de cercetare din laboaratoarele institutiei, D-nei dr.ing. Alexandra Caramizoiu, colegilor de la Institutul de cercetare-dezvoltare Optoelectronica 2001SA pentru colaborare și sfaturi utile.

Doresc să mulțumesc D-lui prof. univ. dr. arh. Ghiorghe Ionașcu membru al Academiei Oamenilor de Știință din România, pentru încurajare și susținere.

Mulțumesc tuturor colaboratorilor pentru contribuții la formarea mea profesională.

Multumesc colectivului de cadre didactice de la Departamentul de Fizica al Universitatii Politehnica din Bucuresti.

Multumesc Dnei Dr. Olivia Comsa pentru sustinere si incurajare si Dlui inginer Sebastian Bostan pentru sugestii si contributii la desene si scheme optice complexe.

# 1. Introducere.

**Prezentarea domeniului tezei de doctorat.** O multitudine de fenomene se pot manifesta la inregistrarea imaginii obiectului si a particularitatilor lui, asa ca autoemisie, emisia indusa (fluorescenta, luminiscenta), reflexia, refractia, absorbtia, dispersia, radiatiei. Aceste efecte depind de proprietatile optice ale obiectului de interes, de materialul si structura suprafetei lui (gradul de rugozitate, acoperiri dielectrice antireflex, s.a). In principiu se face distincie intre efectele de suprafata, cauzate de discontinuitatea proprietatilor, si efectele ce se produc in volumul obiectului.

Termenul vedere robotizata, (machine vision), este utilizat pentru a caracteriza un sistem care supravegheaza o zona de interes, controleaza un proces industrial. Vederea computerizata asemeni ochiului ca organ biologic are un rol activ, exploreaza mediul inconjurator, se roteste, prinde in focar obiectul de interes, ajusteaza unghiul de observatie. Este evidenta complexitatea procedurilor pentru vizualizarea cantitativa care depind de particularitatatile schemei optice, de specificul problemelor de rezolvat.

**Stadiul actual al dezvoltarii sistemelor optoelectronice de inspectare video.** Domeniul camerelor video de inalta definitie pentru inspectarea suprafetelor este intr-o dezvoltare continua. Camerele moderne se echipeaza cu obiective motorizante ce asigura un zoom  $\sim$ 30 ceea ce inseamna marire microscopica cu specificatia ca se efectueaza de la distanta de lucru mult mai mare, ( $\sim$ 250 mm) fata de cea a microscopului de cativa mm, ceea ce permite examinarea diverselor obiecte de diferite marimi. „Video inspection camera” sunt cerute de specialisti din cele mai diverse domenii in care se utilizeaza examinarea optica si controlul calitatii: placi cu componente electronice PCB, dispozitive micromecanice de precizie inalta, aplicatii de securitate etc. De asemenea masurarea non-contact a dimensiunilor, documentarea si arhivarea unui numar mare de imagini . Design modular pentru adaptarea la diferite aplicatii stiintifice, militare, de securitate si industriale.

**Scopul tezei de doctorat.** Pentru obtinerea imaginilor de calitate este necesar un sistem de iluminare multispectrala, asa cum a fost denumit in literatura de specialitate. Scopul tezei de doctorat il reprezinta dezvoltarea metodelor si tehniciilor de iluminare multispectrala si achizitie a imaginilor cu ajutorul camerei digitale cu senzor optic CMOS Aceste cercetari necesita mai multe cunostinte despre subansamblurile din componenta unui asemenea sistem, de captare a imaginilor, cu referire la rezolutia si claritatea imaginilor, implica recuperarea caracteristicilor, obiectului, imaginea caruia urmeaza sa fie procesata pentru a scoate in evidenta proprietatile urmarite: caracteristicile reflectorizante ale elementelor din prim plan si fundal, pentru un numar optim de inregistrari. Aceasta lucrare incearca sa ofere raspuns la acuratetea colorimetrica si spectrala ce poate fi atinsa, combinand cunostintele despre posibilitatile sistemului de la calibrarea parametrilor de inregistrare prin folosirea metodelor de caracterizare a aparaturii de inregistrare.

Fata de camera digitala se impun o serie de cerinte. Trebuie sa fie comandata de calculator. Sa aiba functia de zoom pentru a lua in vizor obiectul de interes si a-l aduce in prim plan pe monitor. Rezolutia camerei trebuie sa asigure vizualizarea elementelor de interes, de dimensiuni micrometrice.

**Continutul tezei de doctorat.** Cercetarile cuprinse in teza de doctorat au avut urmatoarele

obiective:

- studierea si modelarea iluminarii spectrale in vederea proiectarii unor dispozitive mai performante tinand cont de noile tehnologii;
- dezvoltarea unor metode de modelare a functionarii dispozitivelor de iluminare cu LED-uri necesare imbunatatirii achizitiei de imagini la examinarea documentelor protejate;
- optimizarea tehnologiei pentru testarea rezolutiei subsitemului optic;
- modelarea proceselor transmisiei optice folosind metodele optice difractive care au fost prezentate pe parcursul cercetarii,

La acestea se adauga mai multe obiective complementare:

- prezentarea stadiului actual al cercetarilor din domeniu privind vederea computerizata;
- metode de optimizare si realizare a iluminarii spectrale cu sisteme de LED-uri RGB;
- realizarea de subansabluri din componente noi aparute pe piata, in special surse de lumina de randament si fiabilitate crescute;
- perfectionarea metodelor de autotestare a rezolutiei optice prin caracterizarea functiei de transfer optic.

Teza de doctorat este structurata pe 8 capitole, redactata in 126 de pagini si cuprinde 88 de figuri, 4 tabele, 62 de relatii matematice, 54 de grafice si 151 referinte bibliografice.

**Capitolul 1**, introductiv, include:-prezentarea domeniului tezei de doctorat; stadiul actual al dezvoltarii sistemelor optoelectronice de inspectare video: -scopul tezei de doctorat si continutul tezei de doctorat; Cercetarile cuprinse in teza de doctorat au avut urmatoarele obiective: – studierea si modelarea iluminarii spectrale in vederea proiectarii unor dispozitive mai performante tinand cont de noile tehnologii; – dezvoltarea unor metode de modelare a functionalitatii dispozitivelor de iluminare cu LED-uri; – optimizarea tehnologiei pentru testarea rezolutiei subsitemului optic; – modelarea proceselor transmisiei optice, functia de transfer a modulatiei, folosind metodele optice difractive.

**Capitolul 2**, intitulat **Principii si metode de modelare a sistemelor optoelectronice de control imagistic** descrie lantul tehnologic de producere a imaginii care incepe cu descrierea radiometrica a scenei ce urmeaza sa fie captata de camera digitala; metodele de modelare a procesului de inregistrare a imaginii, originea culorilor in materiale si materialele pentru elemente de protectie utilizate in documentele protejate incluzand si metodele optice de examinare luand in considerare un complex de masuri fizico-chimice, prin metode de microscopie optica si electronica, cromatografie, spectrofotometrie in ultraviolet, vizibil si infrarosu; Interactiunea suprafetei cu lumina: este analizata pe baza ecuatiilor de transfer radiativ pentru a calcula fluxurile de energie transferate de la un flux la altul sau absorbite de mediu. Tot in acest capitol sunt analizate metodele optice de verificare a documentelor considerarea coordonatelor iluminarii spectrale.

**Capitolul 3**, intitulat **Principii si metode de testare a rezolutiei optice pentru sisteme optoelectronice cu optica adaptiva** descrie cerintele referitoare la sistemul optic, metode de testare, functiile de transfer optic (Spread functions) si metoda marginii inclinate ( slanted edge) utilizata

**Capitolul 4**, intitulat **Contributii teoretice si experimentale la dezvoltarea sistemelor optoelectronice de control imagistic**, prezinta metode si tehnici de iluminare a regiunii de interes, manipularea culorilor, pentru un contrast mai bun, de asemenea unghiul de incidenta si gradul de difuzie a suprafetei sunt factori cheie pentru obtinerea de imagini fine. Conditiiile de

iluminare sunt foarte importante la inspectarea elementelor regiunii de interes a scenei. Capitolul trateaza: utilizarea filtrelor optice de banda in combinatie cu filtre digitale in sistemul de iluminare spectrala; metoda de iluminare spectrala prin inlocuire surse lumina cu arc incandescent cu surse cu LED-uri; modelarea profilul intensitatii fluxului luminos emis de sursa de iluminare coaxiala pentru omogenizarea iluminarii regiunii de interes (colimare flux, LED-uri, diafragme de camp; metoda de iluminarea a regiunii de interes ROI a suprafetei examineate cu ajutorul LED-urilor RGB; schema optica optimizata de eliminare a reflexiilor orbitoare la examinarea documentelor laminate cu plastic protector; in schema optica a aparaturii de verificat documente; dezvoltarea metodei de modularizare a schemei optice de iluminare spectrala cu ajutorul fibrelor optice de intensitate inalta; metoda estimarii colorimetrice a obiectului de interes cu ajutorul camerei video prin caibrarea functiilor de transfer a filtrelor Bayer. De asemenea sunt prezentate: masuratorile colorimetrice efectuate prin integrarea in schema optica a camerei hyperspectrale pentru examinarea suprafetelor; utilizarea particularitatilor camerei hiperspectrale pentru analiza cernelurilor stampilelor semnaturilor in documentele protejate. amplificarea contrastului cromatic prin simulari numerice de superpozitie a spectrelor iluminantului, de reflexie a suprafetei si spectrului de sensibilitate a camerei digitale. In finalul capitolului se face o sinteza a rezultatelor obtinute si se prezinta concluziile studiilor efectuate.

**Capitolul 5** intitulat **Contributii la dezvoltarea unor metode de testare a rezolutiei optice pentru sisteme optoelectronice cu optica adaptiva** examineaza in subcapitolele care urmeaza testarea rezolutiei optice pentru un sistem cu optica adaptativa, abordand urmatoarele probleme: metoda de estimare a corelatiei dintre rezolutia optima a senzorului optic, si a sistemului de lentile; limitata de fenomenul difractiei cu cerintele schemei optice; rezultate privind dezvoltarea metodei marginii inclinate; simulari computerizate a marginii inclinate cu grade diferite de difuzie a luminii pentru perfectionarea algoritmului de calcul si minimizarea erorilor. In final se prezinta concluziile acestor studii.

**Capitolul 6**, intitulat **Concluzii Finale. Contributii Originale. Tendinte si Perspective**, descrie rezultatele cercetarilor efectuate

**Capitolul 7**, intitulat **Lista de lucrari publicate**, prezinta lista publicatiilor autorului care au servit drept baza de cercetare pentru prezenta teza de doctorat.

**Capitolul 8, Bibliografie.** Teza de doctorat se incheie cu o lista bibliografica selectiva alcatura din 150 titluri de articole din reviste de specialitate, conferinte stiintifice nationale si internationale.

## **2. Principii si metode de modelare a sistemelor optoelectronice de control imagistic**

**2.1 Metode de modelare numerica a sistemului imagistic.** In vederea computerizata scena reprezinta o matrice multidimensională ce descrie radianta spectrală, (photoni/sec/nm/m<sup>2</sup>) pentru fiecare pixel a scenei. Scena emite sau imprastie raze de lumina in toate directiile. Sistemul optic al camerei capteaza o parte din aceste raze divergente, astfel incat acestea sa fie

adunate in planul imaginii iradiante din fata senzorului optic. Pentru calculul iradiantei optice a imaginii trebuie de tinut cont de un numar de factori. In primul rand f-number, marire (magnification), in al doilea rand umbrirea sau slabirea lumii la trecerea prin suprafetele lentilelor, (iluminarea relativa), in al treilea rand: factorul de blurare a imaginii, blurul,

poate aparea din cauza limitei de difractie dependente de lungimea de unda. Din cauza distorsiunilor optice, doar o parte din raze converg in acelasi focal; datele descrise definesc ecuatia camerei, pentru calculul a iradiantei imaginii pe senzorul optic. Ecuatia camerei definita pentru modelul simplificat de conversie a functiei de radianta a scenei  $L_{scena}$  in camp de iradianta (optica) a imaginii pe senzor, este:

$$I_{imagine}(x, y, \lambda) \cong \frac{\pi T(\lambda)}{4(f/\#)^2} L_{scena} \left( \frac{x}{m}, \frac{y}{m}, \lambda \right) \quad (2.1)$$

$L_{scena}$  este functia de radianta a scenei;  $f/\#$  este f-number efectiv al obiectivului (distanta focala impartita la apertura efectiva);  $T(\lambda)$  transmisia lentilelor;  $m$  este marirea lentilelor; coordonatele  $(x, y)$  specifica pozitia fata de centrul imaginii. Scaderea iluminarii odata cu indepartarea de la axa optica principala este numita iluminarea relativa sau umbrirea relativa:  $R(x, y, \lambda) = \cos^4 \theta \approx \left( \frac{d}{S} \right)^4$  (2.2); Termenul  $S$  este inaltimea campului imaginii (distanta de la axa optica) si  $d$  este distanta de la lentile pana la planul imagine.

**2.2 Originea culorilor in materiale.** Compozitia spectrala a lumii emise de o sursa de lumina la intereactiunea cu suprafața corpului solid, este supusa diverselor modificari in procesul de difuzie, reflexie, refractie, difractie, transmisie, absorbtie. Ca urmare, obiectele sub o singura iluminare reflecta lumina de diferite componenții spectrale catre sistemul nostru vizual si ne produc perceptia culorilor. Culoarea este o notiune subiectiva de perceptie individuala. In fizica, toata aparatura de masurare opereaza cu lungimi de unda.

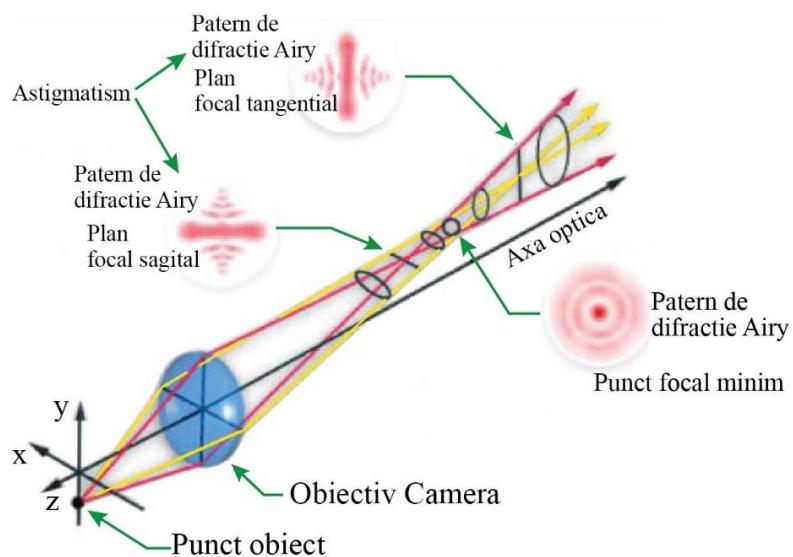


Fig. 2-1 Punct focal minim (circle of least confusion) [14]

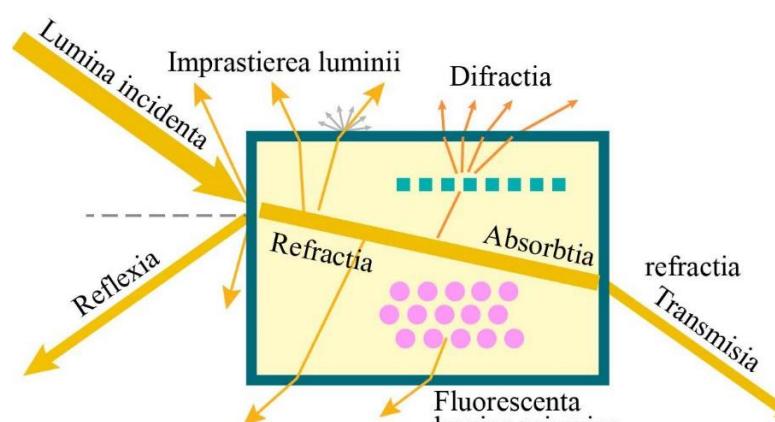


Fig. 2-2 Interacțiunea luminii cu materialul include fenomene fizice asa ca reflexia, refractia, difractia, imprășterea, absorbtia, transmisia, reemisie datorita fluorescentei, aceste efecte, intr-o masura mai mare sau mai sau mai mica, depind de lungimea de

**2.3 Materiale pentru elemente de protectie utilizate in documentele protejate, metode optice de examinare.** Documentele moderne contin o diversitate de materiale destinate protectiei. Pe linge fibrele de celuloza din care este compusa hartia se includ fibre metalice, fibre luminiscente la anumite tipuri de radiatii, alti compusi chimici care protejeaza documentul la nivelul componetiei chimice a materialului; Pentru studierea materialelor componente din substratul documentului, se utilizeaza un complex de masuri fizico-chimice, microscopie optica si electronica, cromatografie, spectrofotometrie in ultraviolet, vizibil si infrarosu.

**2.4 Interactiunea suprafetei cu lumina.** Pe masura ce lumina patrunde mai adanc in material, aceasta este imprastiata mai mult si intensitatea fluxului directional este redusa in timp ce intensitatea fluxului difuz imprastiat este crestuta. Prin urmare un model util pentru propagarea luminii intr-un material opac poate fi dezvoltat folosind doar patru fluxuri: doua fluxuri directionale (unul inainte si unul inapoi) si doua fluxuri difuze (din nou unul inainte si unul inapoi), ceea ce numim setup-ul sau aranjamentul pentru teoria celor 4 fluxuri. Ecuatiile de transfer radiativ sunt stabilite pentru a calcula fluxurile de energie transferate de la un flux la altul sau absorbite de mediu.

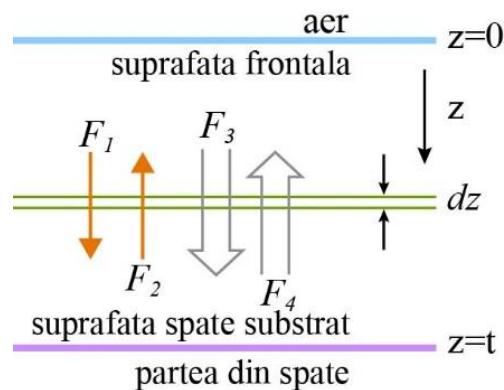


Fig. 2-3 Teoria celor 4 fluxuri se refera la existenta a doua fluxuri directionale  $F_1$  si  $F_2$  si a doua fluxuri difuze  $F_3$  si  $F_4$ ,

**2.5 Metode optice de verificare a documentelor.** Metodele de protectie cu elemente grafice implica diverse forme, texturi, retele de linii de diferite dimensiuni si combinatii de aranjamente [1], [2]. Cu ajutorul iluminarii ultraviolete sau infraroase se pot vizualiza elemente grafice, invizibile in conditii de vizualizare obisnuita. Mijloacele de protectie pot include microtext, fibre luminiscente [3]- [4]. Totalitatea elementelor de protectie se vizualizeaza prin metode optice cu utilizarea echipamentului specializat. Pentru certificarea autenticitatii documentelor sau detectia efectiva a falsurilor din documente se folosesc dispozitive optoelectronice, numite videocomparatoare.

**2.6 Coordonatele iluminarii spectrale.** Vizualizarea spectroscopică este un instrument puternic de scoatere in evidenta a proprietatilor obiectelor examineate, deoarece constantele optice ale materialelor, reflexia, indicele de refractie, coeficientul de absorbtie, de difuzie, luminiscenta, depind de lungimea de unda. Iluminarea spectrala adauga o noua coordonata vizualizarii, si cantitatea de date se multiplica corespunzator. Prin urmare este importanta esantionarea spectrului cu un numar minim necesar, suficient pentru vizualizarea optima.

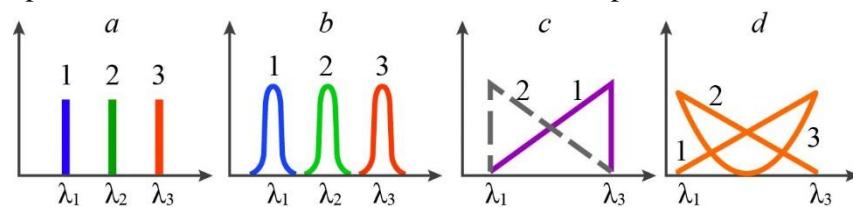


Fig. 2-4 Esantionare spectrala: a) linii spectrale de radiatie, b) esantionare in benzi spectrale, c) esantionarea intregului flux radiativ si media lungimilor de unda, d) esantionarea intregului flux radiativ, media lungimilor de unda si varianta lungimilor de unda, [5].

### 3. Principii si metode de testare a rezolutiei optice pentru sisteme optoelectronice cu optica adaptiva

**3.1 Introducere.** Fata de camerele video utilizate in vederea computerizata si in diverse domenii de asigurare a securitatii se impun cerinte de masurare a calitatii imaginilor. Metoda de calcul a functiei de transfer a modulatiei pentru un sistem imagistic s-a dezvoltat odata cu aparitia de senzori optici tot mai performanti pentru camerele digitale.

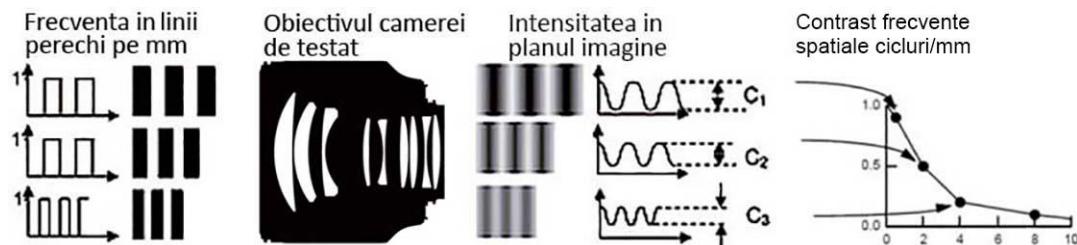


Fig. 3-1 Functia de transfer a contrastului [6] [7]- [8].

**3.2 Functii de transfer optic.** (Spread functions). Functiile de transfer optic descriu procese fizice fundamentale care se manifesta in domeniul imagisticii. Daca intrarile intr-un sistem imagistic liniar, stationar au forma sinusoidalala, atunci si iesirile au o forma sinusoidalala, mai redusa in amplitudine din cauza pierderilor. Reducerea modulatiei pentru o frecventa particulara  $\omega$ , este cunoscuta ca factorul de transfer a modulatiei. Graficul dependentei factorului de transfer a modulatiei fata de frecventa  $\omega$  se mai numeste functia de transfer a modulatiei. Modelarea procesului de formare a imaginii este o operatie de convolutie (notata cu \*), se exprima in distributia iradiantei imaginii  $g(x, y)$ , ec. (3.2), ca o convolutie dintre functia  $f(x, y)$ , a unei iamagini ideale si pulsul de raspuns  $h(h, y)$ :  $g(x, y)=f(x, y)*h(x, y)$  (3.2);

**3.3 Metoda marginii inclinate, slanted edge method.** Se inregistreaza (fotografiaza) o margine inclinata dintre alb si negru de contrast suficient. Imaginea marginii este intotdeauna mai difusa decat cea a obiectului marginie din cauza pierderilor la transferul prin sistemul optic. O particularitate importanta a metodei este crearea inteligenta a profilului 1D de intensitate a marginii inclinate, (ESF edge spread function) prin proiectia pe axa x a pixelilor situati pe linii verticale paralele, axa y, sistemul de coordonate se roteste in asa fel ca axa y sa fie paralela cu marginea inclinata, astfel se realizeaza supraesantionarea, cu pasul de de 1/4 pixel ceea ce permite o precizie suficient de buna pentru calculul functiei ESF, care apoi se deriveaza pentru a obtine functia LSF (line spread function) de tip gausian. Urmatorul pas este decompozitia Fourier a functiei LSF, in serie de frecvențe componente. In rezultat se contruieste functia MTF (modulation transfer function) care reprezinta capacitatea sistemului de a inregistra frecvențele spatiale implicit calitatea sistemului optic examinat.

### 4. Contributii teoretice si experimentale la dezvoltarea sistemelor optoelectronice de control imagistic

**4.1 Utilizarea filtrelor optice de banda in combinatie cu filtre digitale in sistemul de iluminare spectrala. Metode de optimizare.** Se stie, pentru a realiza un aparat compact si ergonomic sunt necesare optimizari ale schemei optice. In rezultatul experimentelor s-a constatat,

in majoritatea cazurilor la interactiunea luminii incidente cu suprafata examinata, spectrul de reflexie se modifica. Lumina de la sursa, dupa ce trece prin filtrul optic si interactioneaza cu suprafata examinata isi modifica spectrul de reflexie. Camerele video sunt calibrate din Fabrica sa vada culorile corect. In fata senzorului optic CMOS al Camerei este plasat filtrul Bayer reglat sa interpreteze culorile. Pozitionarea unui filtru suplimentar in fata obiectivului nu face altceva decat sa dubleze filtrul deja existent.

#### 4.2 Metoda de iluminare spectrala prin inlocuire surse lumina cu arc incandescent cu surse cu LED-uri

**Selectia unei iluminari potrivite este esentiala in aplicatiile de control a documentelor protejate de asemenea in microscopie s.a. domenii de imagistica.** LED-urile au o durabilitate mai mare, nu necesita surse de alimentare scumpe. In afara de aceasta este disponibila o gama larga de diode LED cu emisie spectrala in UV/VIS/NIR, cu diverse largimi de banda Fig. 4-3. LED-urile cu lumina alba de emisie in intervalul temperaturilor de culoare de la 2500K pana la 6000 K sunt o selectie foarte buna pentru iluminarea regiunii de interes si inregistrarea imaginilor de calitate. O caracteristica optica a surselor LED este diagrama de directivitate; Avantaje: 01) Durata de functionare indelungata; 02) Eficienta 85%-90% in comparatie cu iluminatul traditional; 03) Extrem de rezistente la socuri mecanice; 04) Alimentare de la surse de joasa tensiune; 05) divergenta mai mica a fluxului luminos datorita opticii integrate; 06) Culoare de temperatura acopera o gama larga de la lumina calda 2200-3200 la lumina galben calda 3200-4500 si lumina rece 4500-7000 (alb-albastru); 07) Aprindere instanta fara fluctuatii, fara palpare

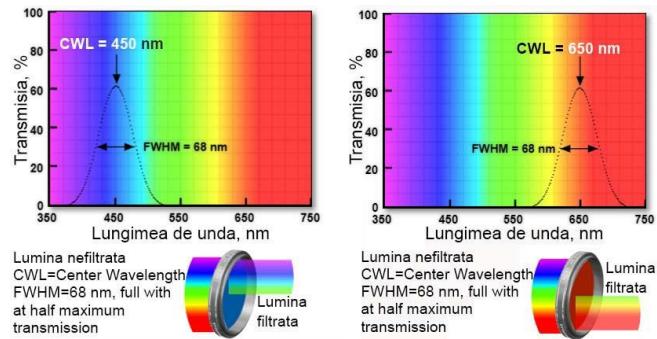


Fig. 4-1 Filtrul optic transmite numai o parte din lumina incidenta, este caracterizat de Lungimea de unda transmisa, (sau culoarea), largimea benzii (FWHM), transmisia (%), de asemenea suntfiltre trece sus, trece jos,filtre interferentiale, de banda ingusta. [95]

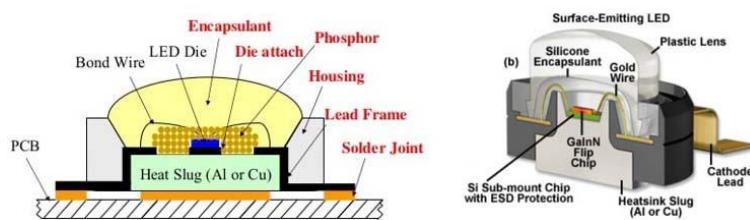


Fig. 4-2 Componentele principale ale unui LED tip [9]

**4.3 Modelarea profilului intensitatii fluxului luminos emis de sursa de iluminare coaxiala pentru omogenizarea iluminarii regiunii de interes.** La inspectarea diverselor suprafete cu ajutorul camerei video, ca si in microscopie, conteaza foarte mult omogenitatea iluminarii regiunii de interes. Iluminarea omogena a regiunii de interes este necesara pentru conditii speciale de examinare a unor materiale cu proprietati optice specifice, de exemplu atunci cand culoarea digitala a elementului studiat se afla in vecinatatea limitei sensibilitatii cromatice a camerei. Rezolutia scade odata cu frecventa spatiala a barelor alb-negru, dar si cu modificarea culorii acestor bare de control. Pentru omogenizare au fost dezvoltate si adaptate metodele

folosite in microscopie. Folosirea difuzorului optic de constructie speciala, in combinatie cu diafragme cu profil dreptunghiular ne ajuta sa modelam profilul fluxului luminos.

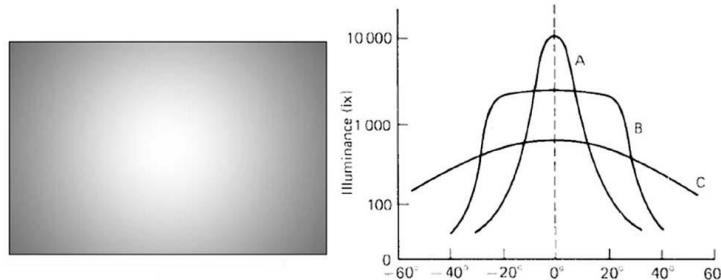


Fig. 4-3 Iluminare neomogena a regiunii de interes; masuratori pentru reglarea profilului intensitatii de iluminare a regiunii de interes

**4.4 Metoda de iluminarea regiunii de interes a suprafetei examineate cu ajutorul LED-urilor RGB.** Utilizarea LED-urilor in tehnologia iluminarii atrage de mult timp atentia specialistilor pentru consumul redus de energie si costuri reduse de mentenanta. Pentru crearea luminii albe cu ajutorul LED-urilor se practica doua abordari: utilizarea separat a 3 LED- RGB, conectate intr-o schema optoelectronica de mixare a trei radiatii monocromatice de la fiecare LED, amestecarea culorilor monocromatice va rezulta in lumina de culoare, functie de cantitatea culorilor componente de lumina generata de cele 3 LED-uri. Alta metoda este folosirea LED-urilor care emit in lungimi de unda mai scurte din vizibil, lumina albastra si conversia ei in lumina alba cu ajutorul acoperirii cu fosfor fluorescent. Abordarea mixarii culorilor cu ajutorul a 3 LED-uri ofera o eficienta luminoasa mai mare deoarece se evita pierderile de conversie in lumina alba in mediul stratului de fosfor fluorescent. Mai mult LED-urile de mixare a culorilor asigura o flexibilitate in obtinerea culorilor. Prin urmare LED-urile de mixare a culorilor sunt metoda preferata pe termen lung pentru a produce lumina alba de calitate.

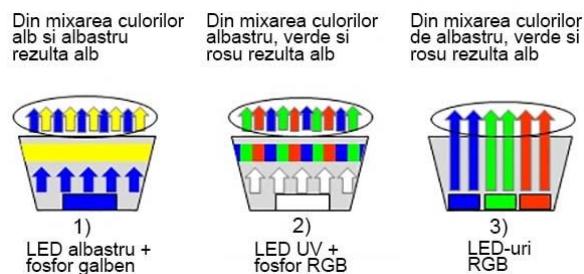


Fig. 4-4 Scheme optice de formare a culorii albe in LED-uri

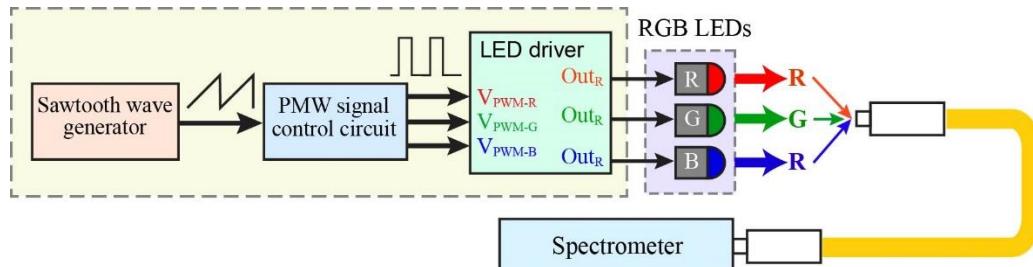


Fig. 4-5 Schema dispozitivului de formare a luminii albe Schema dispozitivului de formare a luminii albe si a nuantelor de culoare cu ajutorul LED-urilor RGB [10].

**4.5 Schema optica optimizata de eliminare a reflexiilor speculare la examinarea documentelor laminate cu plastic protector; in schema optica a apparatului de verificat documente.** Modul in care suprafata unei probe de material analizat interactioneaza cu lumina intr-o aplicatia specifica de examinare a suprafetei este legat de multi facori: textura sau relieful suprafetei, gradul de rugozitate, forma suprafetei, topografia, geometria interactiunii, reflectivitatea, compozitia chimica, culoarea. Lumina reflectata de anumite suprafete sub anumite

unghiuri devine polarizata, rezultand reflexii speculare (directe, nedifuze, orbitoare). Reducerea stralucirilor ce orbesc camera si maximizarea calitatii imaginilor inregistrate se obtine prin utilizarea filtrelor de polarizare in fata sursei de lumina si in fata obiectivului camerei. Orbirea camerei se explica prin aceea ca pixelii senzorului au intrat in regim de suprasaturatie;

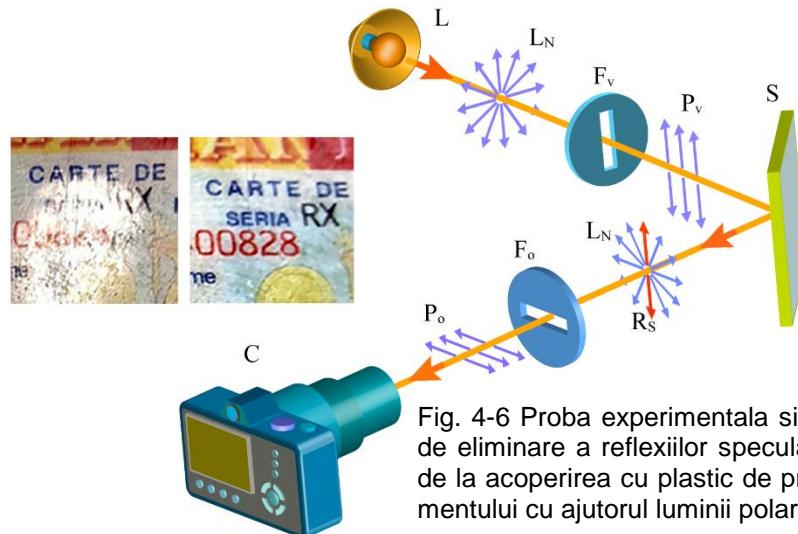


Fig. 4-6 Proba experimentală și schema optica de eliminare a reflexiilor speculare, (orbitoare), de la acoperirea cu plastic de protecție a documentului cu ajutorul luminii polarizate

**4.6 Dezvoltarea metodei de modularizare a schemei optice de iluminare spectrala cu ajutorul fibrelor optice de intensitate inalta.** La vizualizarea si examinarea obiectelor de interes in campul de vedere al camerei se folosesc diverse tipuri de iluminare. Atat sursa de alimentare a becului cat si becul, in timpul functionarii degaja o cantitate mare de caldura, functie de puterea electrica si optica necesara iluminarii. Necesitatea cresterii puterii apare atunci cand in fata sursei de lumina se plaseaza filtre optice trece banda care lasa sa treaca numai o mica parte din toata puterea de emisie a sursei de lumina. O solutie tehnica moderna este gruparea componentelor descrise intr-un modul functional distinct, scoaterea lui in afara incintei aparatului, ceea ce sa realizat. Modificarea se poate realiza daca utilizam fibra optica de putere pentru a aduce lumina in incinta aparatului. Avantajele sunt evidente, si tine de estimari ingineresti, pozitionarea intr-un loc accesibil in cadrul aparatului. Modularitatea presupune inlocuirea turelei cu filtre cu alta turela cu filtre. Instalarea simpla, si rapida. Simplificarea constructiei. Dispar cablurile electrice de la locatia destinata iluminarii;

**4.7 Metoda estimarii colorimetrice a obiectului de interes cu ajutorul camerei video prin caibrarea functiilor de transfer a filtrelor Bayer.** O modalitate de utilizare a camerei in calitate de colorimetru este de a gasi modelul de corespondenta dintre valorile RGB si valorile CIELAB. Pentru suprafetele tiparite poligrafic s-a demonstrat ca aceasta abordare produce cele mai bune rezultate, atunci cand calibrarea si masuratorile sunt efectuate pe aceleasi esantioane tiparite cu aceleasi combinatii de materiale poligrafice utilizate. Dupa cum se stie masuratorile cu spectrocolorimetru se fac punctual, datorita specificului aparatului. Daca avem de masurat in mai multe puncte procesul este consumator de timp. Cu cat precizia aparatului este mai mare cu atat este mai scump. In general spectrometrele sunt aparate scumpe. Folosirea camerei ne ofera posibilitatea de a efectua masuratori estimative, rapide, pentru un numar mare de puncte la costuri relativ reduse. Sa nu uitam ca pentru acest gen de adaptari nu se utilizeaza camere dintre cele mai ieftine. Initial se face o apreciere despre posibilitatea folosirii capacitatiilor tehnice ale camerei digitale pentru masuratori colorimetrice. Reprofilarea Camerei se poate face

prin estimarea Estimarea Spectrala Directa, ceea ce inseamna estimarea directa din vectorii numerici RGB. (valori numerice a triadei de culori red, green, blue, cu ajutorul carora se formeaza toate celelalte culori). Odata ce formulele de calcul a diferenței de culoare sunt utilizate pe scara largă. Diferenta de culoare dintre culorile de referinta si cele reproduse a fost calculata din spectrele estimate, cu ajutorul camerei digitale. Modalitatea de a calcula o astfel de estimare spectrala este de a aproxima functiile de sensibilitate (sau spectrele de transfer) ale filtrelor RGB din Camera si de a folosi acest lucru pentru a estima distributiile spectrale. In fata camerei se placeaza o sursa de lumina monocromatica reglabilă, care poate emite diferite lungimi de unda de banda suficient de ingusta si care pot fi inregistrate cu ajutorul senzorului Camerei. Desigur se vor inregistra setarile camerei F-number, distanta focala, luminozitatea sursei. Vectorii numerici de raspuns inregistrati sunt cei care caracterizeaza functiile de transfer ale filtrelor camerei;

**4.8 Masuratori colorimetrice prin integrarea in schema optica a camerei hyperspectrale pentru examinarea suprafetelor.** Analiza spectrala permite identificarea materialelor, este ca o amprenta de identificare a materialului. Controlul culorii elementelor de protectie pe un document protejat este o operatiune importanta ce permite depistarea falsurilor. In camera hyperspectrala fiecare pixel imagine contine date despre intreg spectrul vizibil de la 400 nm pana la 700 nm, sau chiar mai mult, functie de destinatia camerei, poate contine date de UV, NIR, FIR. Imaginea hyperspectrala este caracterizata de 3 marimi, Rezolutia pe axa x, rezolutia pe axa y si a 3-a dimensiune spectrala. Datele despre imaginea hyperspectrala formeaza un cub de date, o matrice tridimensională, cubica. Fiecare felie a cubului este numita canal, sau banda spectrala. De exemplu senzorul optic sensibil in intervalul 400-700 nm poate inregistra 128 de benzi spectrale,  $(700-400)/128=2.3$  nm, cu pasul de 2.3 nm se inregistreaza amplitudinea radiatiei reflectate, ceea ce e o rezolutie suficient de buna. Pentru aplicatii specifice avantajul utilizarii camerei hyperspectrale este evident. Din schema optica a aparatului pentru expertiza criminaiatica a documentelor protejate dispar mai multe componente, asa ca turele cu filtre optice impreuna cu motoarele electrice de actionare, schemele electronice de dirijare si alimentare. Camera contine in interiorul ei sistemul de filtrare si dispersie al radiatiei luminoase. Raman un numar mai mic de surse speciale de iluminat.

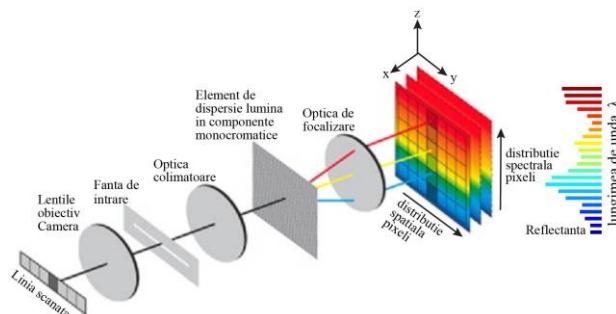


Fig. 4-7 Camera hyperspectrala. Schema optica Fiecare pixel imagine contine date despre spectrul in vizibil 400-730 nm cu pasul 10 nm;  $330 \text{ nm} / 10 \text{ nm} = 33$  de intervale. Culoarea pixelului este data de 33 de plane de culoare [126] [127].

700 nm poate inregistra 128 de benzi spectrale,  $(700-400)/128=2.3$  nm, cu pasul de 2.3 nm se inregistreaza amplitudinea radiatiei reflectate, ceea ce e o rezolutie suficient de buna. Pentru aplicatii specifice avantajul utilizarii camerei hyperspectrale este evident. Din schema optica a aparatului pentru expertiza criminaiatica a documentelor protejate dispar mai multe componente, asa ca turele cu filtre optice impreuna cu motoarele electrice de actionare, schemele electronice de dirijare si alimentare. Camera contine in interiorul ei sistemul de filtrare si dispersie al radiatiei luminoase. Raman un numar mai mic de surse speciale de iluminat.

**4.9 Utilizarea particularitatilor camerei hyperspectrale pentru analiza cernelurilor stampilelor semnaturilor in documentele protejate.** Camera hyperspectrala este un instrument util de examinare nondistructiva a pigmentilor poligrafici, a scrisului de mana pe doocumentele protejate a cernelurilor stampilelor. Este cunoscut, scrisul de mana se face cu anumite cerneluri, unele avand incluse elemente de identificare. Adica au o culoare bine definita si implicit un spectru unic care le identifica. Utilizarea imaginilor hyperspectrale insa ne ofera un avantaj evident, precize mai mare, erori mai putine viteza mare de lucru. O proprietate importanta a

imaginilor este faptul ca permite mult mai precis de efectuat segmentarea elementelor de imagine dupa diverse criterii, in primul rand dupa dupa nuantele de culoare, pentru a scoate in evidenta caracteristic abia vizibile. Rezultatele obtinute au aratat, calitatile sistemului pot fi puse in valoare de un sistem performant de iluminare. Imagine hyperspectrale ne pot ajuta sa restabilim text abia lizibil de pe documente vechi, de exemplu inregistrand imagini la fiecare 15 nm de la 400 nm pana la 700 nm si apoi analizand aceste imagini avem posibilitatea sa selectam imaginea cu cel mai bun contrast;

**4.10 Amplificarea contrastului cromatic prin simulari numerice de superpozitie a spectrelor iluminantului, de reflexie a suprafetei si spectrului de sensibilitate a camerei digitale.** Formarea imaginii unui obiect este un proces fizic, lumina emisa de o sursa de iluminare spre obiectul de interes, este reflectat de acesta spre sistemul de lentile al camerei, in spatele carora se afla planul imagine. Astfel culoarea unui element al scenei este obtinuta prin integrarea distributiei spectrale de putere a iluminantului, reflectanta spectrala a obiectului si sensibilitatea spectrala a senzorului optic CMOS al camerei. Deoarece crearea unui spectru de iluminare arbitrar nu este realista, este esential sa compunem cele mai potrivite iluminari disponibile. Prin urmare este util de gasit cea mai potrivita iluminare folosind combinatii liniare ale iluminantilor disponibili. Daca avem surse de lumina controlata, ale caror spectre de emisie  $l_1, l_2, \dots, l_N$  sunt date, se poate formula problema gasirii celei mai bune combinatii liniare de surse de iluminare; Metoda propusa este utila atat pentru dispozitive cu vedere robotizata de inspectare a suprafetei documentelor protejate cat si in medicina pentru vizualizare endoscopica etc;

**4.11 Rezultate.** Iluminarea, pozitionarea probei si sistemul optic de captare sunt componente hardware de baza necesare pentru achizitia de imagini. Imaginea captata de camera este formata in principal de lumina reflectata de obiectele scenei de interes. Culorile imaginii pot varia in functie de iluminare, atunci cand camera vizeaza o anumita scena. Aranjamentul tipic pentru iluminare este alcautuit din surse de iluminare de tip tungsten-halogen sau LED, de culoare alba, in cea mai mare parte, sau de anumite temperaturi de culoare, ce implica operatiuni de reglaj pentru balanta albului.

Fig. 4-8 Componentele principale ale unui sistem imagistic de inspectare a suprafetei: : sursa de lumina, camera digitala cu senzor optic. suprafata reflectorizanta (scena).

Determinarea sursei de lumina corespunzatoare, intensitatea luminii, unghiul de incidenta si difuzia sunt factori cheie pentru obtinerea de imagini fine. Conditii de iluminare sunt foarte importante la inspectarea elementelor regiunii de interes a scenei. Optimizarea surselor de lumina necesita adaugarea unor elemente optice de omogenizare a fluxului luminos indreptat

spre tinta, prin adaugarea lentilelor de colimare in fata sursei de lumina;

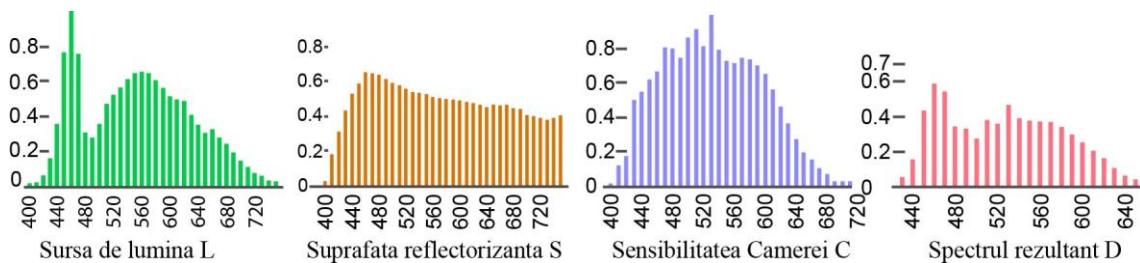


Fig. 4-9 Interactiunea spectrala a luminii, sursa L, LED

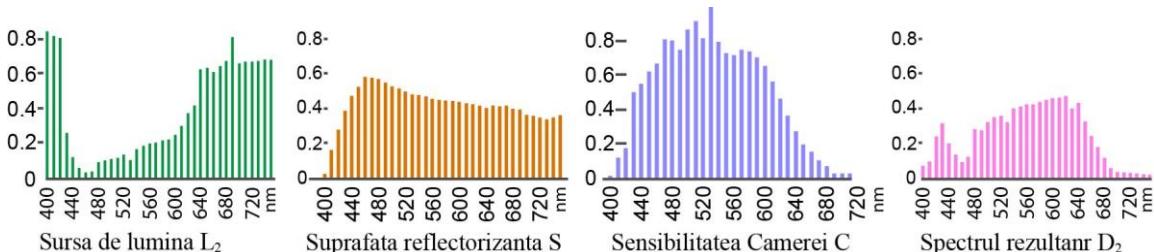


Fig. 4-10 Modificarea spectrului de emisie al sursei de lumina induce modificarea spectrului rezultant vezi, Fig. 4-9, si implicit calitatea imaginii inregistrata de camera digitala

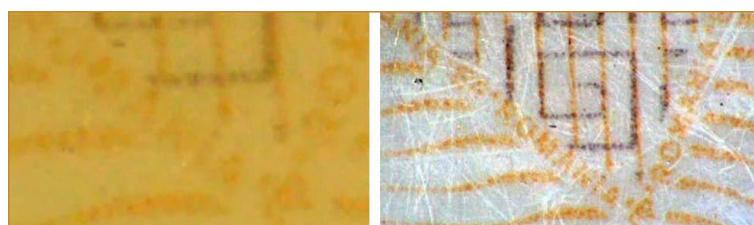


Fig. 4-11 La inspectarea video a suprafetei documentelor rolul iluminantului este deosebit de important pentru claritatea imaginii; proba experimentală.

**4.12 Concluzii.** Din imaginile test inregistrate, rezulta, tipul iluminarii, si spectrul iluminarii este foarte important, pentru obtinerea unei imagini cat mai clare, in particular atunci cand elementele de prim plan au nuante apropiate cu cele ale fundalului. Rezultatele prezentate au contribuit la optimizarea subansamblurilor respective ale echipamentului. A fost imbunatatita rezolutia cromatica a aparatului. Metoda de control a spectrului de emisie si reflexie de asemenea a contribuit la perfectionarea functiilor aparatului.

## 5. Contributii la dezvoltarea unor metode de testare a rezolutiei optice pentru sisteme optoelectronice cu optica adaptativa

**5.1 Metoda de estimare a corelatiei dintre rezolutia optica a lentilelor si rezolutia digitala a senzorului optic, cu cerintele schemei optice.** Rezolutia imaginii este o caracteristica importanta, mai ales in aplicatii de inspectare a microtextului de dimensiuni micrometrice aproximativ 70-100  $\mu\text{m}$ . Contributia se refera la dezvoltarea metodelor de analiza a caracteristicilor optice a camerei digitale a sistemului de lentile s.a; Din multitudinea de

camere digitale existente pe piata, unde pentru fiecare camera se potrivesc mai multe sisteme de lentile, si unde unui sistem de lentile i se potrivesc mai multe camere este o problema de rezolvat in gasirea unei perechi optime camera digitala-sistem de lentile performant ce maximizeaza per ansamblu performanta camerei. Pentru a avea rezolutie mai mare a imaginii senzorul trebuie sa aiba mai multi pixeli, mai multi pixeli pe aceeasi arie a senzorului inseamna pixeli mai mici, dar pixel mai mic inseamna mai putini fotoni captati si aici intervin probleme de care se ciocneste proiectantul. Pixelii devin tot mai mici pana se ajunge la bariera limitei fundamentale a fizicii, pixelul nu poate fi cu mult mai mic decat lungimea de unda. La selectarea camerei pentru sistemului de vizualizare sa tinut cont de calculul punctului focal minim. Dimensiunea caruia trebuie sa se potriveasca cu dimensiunea pixelului senzorului optic. Daca punctul focal e mai mare de 2-3 ori decat dimensiune pixel atunci sistemul optic nu se potrivesc cu senzorul optic, sau daca lentilele nu asigura rezolutia optica necesara;

**5.2 Rezultate privind dezvoltarea metodei marginii inclinate.** Rezolutia camerei cu senzor CMOS poate fi verificata cu ajutorul mirelor speciale de control cu bare negre si albe de diverse frecvenete spatiale, sau folosind metoda slant-edge, margine inclinata. A doua metoda presupune o serie de operatii pregatitoare, calcule pentru construirea graficului functiei MTF care afiseaza contrastul in functie de frecventa, (la frecvenete inalte contrastul scade) cy/px, cy/mm, lp/mm. Avantajul metodei slant edge este acela, atunci cand nu avem la dispozitie o mira speciala de control a rezolutiei, sau nu avem posibilitatea sa demontam camera din aparat pentru a o testa pe standul de masura in laborator, putem efectua masuratori ale rezolutiei prin metoda slant-edge. Imaginea marginii inclinate apare pe senzorul CMOS, ca o margine inclinata de lumina de la intensitatea scazuta (zona intunecata) spre intensitate marita, zona luminoasa; Se calculeaza functia ESF (edge spread function) care profilul intensitatii pixelilor la trecerea de la intunecos spre luminos. Se calculeaza functia LSF (line spread function) din functia ESF prin derivarea ei. In rezultat se obtine un puls de tip gausian. Functia LSF se descompune in serie fourier prin aplicarea operatiei matematice DFT, (discrete fourier transform), in baza rezultatelor obtinute se construieste graficul functiei MTF (modulation transfer function), care reprezinta transmisia frecvenelor spatiale de catre sistemul optic;

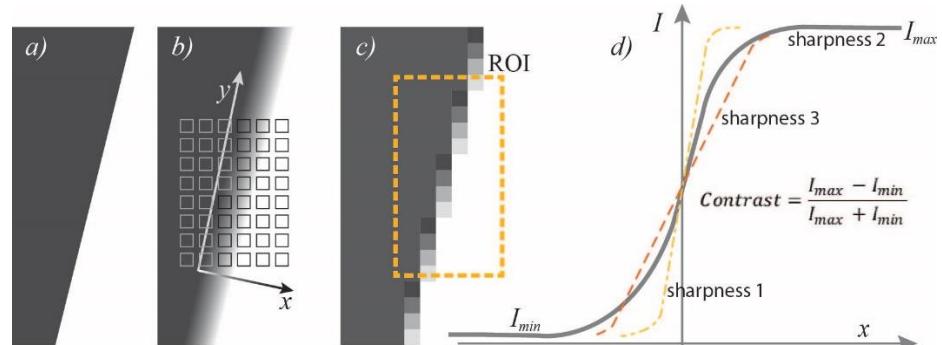


Fig. 5-1 a): obiectul tinta margine inclinata, b): imagine obiect margine inclinata proiectata pe matricea de pixeli a senzorului optic CMOS, c): esantionarea marginii inclinate de catre senzorul optic, mirea vizualizare pixeli, dimensiune pixel 0.00428 mm (4.28  $\mu\text{m}$ ), d): profilul intensitatii marginii inclinate, la acelasi contrast pot exista mai multe grade de sharpness, sau acuitatea imaginii.

**5.3 Modele computerizate ale marginii inclinate – gradient de lumina, pentru dezvoltarea si optimizarea algoritmului de calcul.** Au fost simulate pe calculator mai multe modele de margini inclinate foarte apropiate ca forma de cele reale. Sau modelat mai multe grade de difuzie a marginii inclinate, de la o trecere abrupta de la intunecos spre luminos (panta abrupta),

pana la o trecere lina (lina); Studierea gradientului de intensitate luminoasa pe senzorul optic, format de imaginea marginii inclinate ne permite o estimare mai rapida despre calitatea imaginii, din care se extrag date experimentale pentru calculul functiei ESF, se verifica algoritmii de calcul. Metoda marginii inclinate este utila prin faptul ca ofera posibilitatea de a construi functia de transfer a marginii inclinate dintre obiect si imaginea sa. Imaginea marginii va fi mai difusa din cauza pierderilor optice cauzate de sistemul de lentile, ce includ fenomenul difractiei pe apertura de intrare dar si alte distorsiuni optice cauzate de imperfectiunea lentilelor individuale, cat si de centrajul optic al grupurilor de lentile. Simularea computerizata a marginii inclinate este utila pentru perfectionarea si verificarea tehniciilor de masurare, de diminuare a zgomotului;

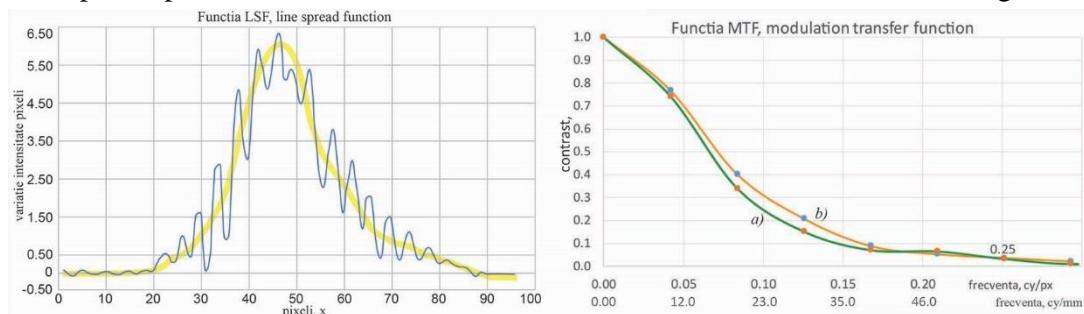


Fig. 5-2 Functia LSF, line spread function, calculata prin derivarea functie ESF, Fig. 5.1d. Functia MTF, (modulation transfer function) calculata prin metoda DFT a functiei LSF, line spread function. Pe axa orizontala valorile sunt in cy/px sau cy/mm. Ciclu inseamna o perioada a semnalului spatial. O bară albă și una neagră este un ciclu. Pentru reprezentare în cy/mm, cy/px se va împărti la dimensiune pixel în mm, de exemplu pentru pixel de dimensiune  $4,28 \mu\text{m}$ ,  $(0.10 \text{ cy/px}) / 0.00428 = 23 \text{ cy/mm}$  sau linii perechi per pixel (lp/px). Curba a)-semnal original fără filtrare zgomot, b)-semnal cu filtrare zgomot.

**5.4 Concluzii.** In studiu s-a urmarit dependenta modelului de gradient in aspectul latimii lui si frecventele spatiale ce se contin in respectivul model de margine inclinata; Simularea computerizata a modelului de gradient de intensitate luminoasa pe senzorul optic, este o modalitate de verificare a metodei de calcul, a posibilelor erori in metodele de calcul, de verificare a procedurii de esantionare, de perfectionare a modelului. Graficele functiei MTF construite, ne arata, cu cat gradientul marginii inclinate este mai ingust sau functia LSF, cu atat curba functiei MTF are o inclinare tot mai mica fata de orizontala, sistemul transmite mai bine frecventele spatiale inalte, rezolutie este mai buna, si invers cu cat gradientul marginii este mai lat cu atat curba MTF este inclinata mai abrupt, transmisia frecventelor inalte scade spre zero amplitudine, rezolutia sistemului scade.

## 6. Concluzii Finale. Contribuții Originale. Tendințe si Perspective

**6.1 Rezultate obtinute.** In lucrare s-au realizat dezvoltarea si perfectionarea metodelor de iluminare spectrala pentru înregistrarea imaginilor in sisteme de inspectare video cu aplicatii in examinarea documentelor protejate; Au fost studiate metode de control a rezolutiei optice prin dezvoltarea metodei marginii inclinate. Rezultatele acestor cercetari a fost aplicate cu succes in modernizarea aparaturii de control cu aplicatii in inspectarea video a suprafetelor, au fost publicate in reviste de specialitate. Cercetarea a fost centrata pe aplicarea metodelor optice de examinare a materialelor din componenta documentelor protejate, a elementelor originale de securitate

integrate in hartia, cartonul, straturile de plastic din care este confectionat un document sau altul.

**6.2 Contributii originale.** In lucrarea de fata au fost dezvoltate mai multe contributii originale, in special a componentelor si subansamblelor optice, care trebuie sa satisfaca cerintele tot mai avansate dictate de utilizator cat si de concurenta, printre care eficienta energetica, greutate, performanta, mentenanța etc. Majoritatea contributiilor au fost descrise in lista de lucrari publicate din Capitolul 7 si includ urmatoarele:

1) Utilizarea Filtrelor optice de banda in combinatie cu filtre digitale in sistemul de iluminare spectrala. Metode de optimizare; S-a realizat cresterea contrastului cromatic in prima etapa in corelare cu utilizarea filtrelor digitale, software in a doua etapa pentru reglajul balantei de culoare; cap. 7, [1];

2) Metoda de iluminare spectrala prin inlocuirea surselor de lumina cu arc incandescent cu surse cu LED-uri; A fost optimizata schema de iluminare cu ajutorul LED-urilor. Dimensiuni mai mici, lumina mai multa, caldura degajata mai putina s.a. avantaje; cap. 7, [2];

3) Modelarea Profilul Intensitatii Fluxului Luminos emis de sursa de iluminare coaxiala pentru omogenizarea iluminarii regiunii de interes (colimare flux, LED-uri, diafragme de camp; La fotografiera cu camera telefonului mobil a unei foi A4 albe, botita pe alocuri, camera va vedea mai multe umbre decat ochul uman, care tinde sa substituie umbrele cu alb, stiind din subconscient ca hartia e alba, camera fotografica nu are subconscient, (dar poate avea), au fost dezvoltati algoritmi hard si soft pentru a ilumina omogen regiunea de interes, prin modelarea profilului intensitatii luminoase de tip gausian, pentru inregistrarea imaginilor de calitate superioara. cap. 4, p.4.5; cap. 7, [2];

4) Metoda de iluminare a regiunii de interes ROI a suprafetei examinate cu ajutorul LED-urilor RGB; Iluminarea cu o anumita culoare se poate realiza cu ajutorul filtrelor optice de banda sau prin utilizarea a 3 LED-uri RGB, prin controlul cantitatii de lumina emis de fiecare LED se poate obtine o diversitate de culori care pot inlocui cu succes filtrele optice clasice. S-au dezvoltat solutii tehnice noi, aplicate in aparate pentru videoinspectarea documentelor si a altor suprafete. cap. 4, p.4.6;

5) Schema optica optimizata de eliminare a reflexiilor orbitoare la examinarea documentelor laminate cu plastic protector; in schema optica a aparatului de verificat documente; Atunci cand examinam o suprafata care contine elemente stralucitoare care pot orbii privirea, noi automate schimbam pozitia pentru a scapa de orbire, intr-un aparat specializat sunt necesare solutii soft si hard pentru a elibera orburile camerei. Nu intotdeauna solutiile generale se potrivesc unei aplicatii particularizate. S-au realizat solutii tehnice pentru eliminarea straluciilor spre camera; cap. 4, p.4.7; cap. 7, [2];

6) Dezvoltare metodei de modularizare a schemei optice de iluminare spectrala cu ajutorul fibrelor optice de intensitate inalta; Fibrele optice de intensitate inalta permit aducerea lumii in zona de interes, si modularizarea schemei optice. Au fost realizate solutii originale de plasare a surselor de lumina intr-un modul separat; cap. 4, p.4.8;

7) Metoda estimarii colorimetrice a obiectului de interes cu ajutorul camerei video prin calibrarea functiilor de transfer a filtrelor Bayer; In anumite aplicatii, camera poate fi utilizata pentru estimari colorimetrice, dupa o calibrare prealabila. Au fost inregistrate tinte test de culoare. Sau inregistrat valorile rgb, s-a construit un tabel de conversie a culorilor.. Atunci cand la inregistrarea unei culori, valorile pixelilor rgb aveau corespondenta in tabelul de calibrare se

afisa culoarea respectiva. S-au aplicat algoritmi de interpolare atunci cand culoarea era apropiata de una din culorile din tabelul de calibrare; cap. 4, p.4.9;

**8)** Masuratori colorimetrice prin integrarea in schema optica a camerei hyperspectrale pentru examinarea suprafetelor; Camera hyperspectrala este o metoda alternativa la cea descrisa in p. 7. Contine un microspectrometru calibrat din fabrica. Metoda este utila pentru utilizare in aplicatii specifice de inspectare video si masuratori colorimetrice; Cap. 4, p.4.10;

**9)** Utilizarea particularitatilor camerei hyperspectrale pentru analiza cernelurilor stampilelor semnaturilor in documentele protejate; A fost dezvoltata si realizata metoda pentru masuratori colorimetrice comparative a cernelurilor si a pigmentilor tipografici cu ajutorul camerei hiperspectrale; Cap. 4, p.4.11; Cap. 7, [1];

**10)** Amplificarea contrastului cromatic prin simulari numerice de superpozitie a spectrelor iluminantului, de reflexie a suprafetei si spectrului de sensibilitate a camerei digitale; A fost dezvoltata metoda modelarii numerice a interactiunii spectrelor de emisie a iluminantului, de reflexie a suprafetei examinare si de sensibilitate a camerei in scopul perfectionarii sistemului imagistic; cap. 4, p.4.12; cap. 7, [2];

**11)** Dezvoltarea metodei de testare a rezolutiei optice prin metoda marginii inclinate pentru un sistem optoelectric cu optica adaptiva. Calculul functiei MTF; A fost perfectionata si aplicata metoda pentru un sistem de examinare video; cap. 5, p.5.1; cap. 7, [3];

**12)** Optimizarea algoritmilor de calcul a functiei MTF de testare a rezolutiei optice pentru un sistem optoelectric cu optica adaptiva prin metoda marginii inclinate (slanted edge method); Noutatea stiintifica consta in identificarea metodelor de crestere a preciziei rezultatelor obtinute. Cauzele care influenteaza precizia datelor si a calculelor; cap. 5, p.5.1; cap. 7, [3];

**13)** Simulari computerizate a marginii inclinate cu grade diferite de difuzie a luminii pentru perfectionarea algoritmului de calcul si minimizarea erorilor; Marginea inclinata este o linie a umbrei de trecere de la intunecos spre luminos latimea careia este influentata de fenomenul difractiei pe aperetura obiectivului precum si de alti factori, noutatea stiintifica consta in completarea modelelor existente cu noi modele, metode de simulate si de calcul; cap. 5, p.5.1; cap. 7, [3];

**14)** A fost dezvoltata metoda de estimare a corelatiei dintre rezolutia optima a senzorului optic, si a sistemului de lentile; limitata de fenomenul difractiei, cu cerintele schemei optice; Noutatea stiintifica consta in completarea descrierii teoretice, cu noi date despre formarea imaginii, in planul focal, in care este situat si planul senzorului optic, transferul imaginii in planul fotopixelilor, esantionarea imagini conform cerintelor; Cap. 5, p.5.4;

**6.3 Perspective de dezvoltare ulterioară.** Vderea computerizata este un domeniu de cercetare ce inglobeaza un spectru larg de activitati interdisciplinare. Asa ca fizica optica, fizica semiconductoarelor, fotonica, optoelectronica, tehnologia surselor de lumina cu arc incandescent, diode luminiscente s.a, tehnologia camerelor foto-video cu senzor optic, camere hiperspectrale; algoritmi software de procesare a datelor video, imagistica-stiinta despre procesarea imaginilor si recunoasterea prototipurilor, stiinta despre calculatoare, stiinta despre ochiul organismelor vii, spectroradiografometrie, inteligenta artificiala, nanotehnologii si micromecanica etc. Este evident, realizarea de dispozitive cu functii de vedere a ochiului organismelor vii implica cunostinte si activitati suficient de complexe.

Rezultatele obtinute in cadrul tezei de doctorat pot fi utilizate pentru cresterea performantelor aparaturii optoelectronice de videoinspectie, de largire a functionalitatii, de

crestere a fiabilitatii si a duratei de exploatare prin utilizarea tehnologiilor de iluminare spectrala a regiunii de interes.

Cercetarile efectuate in cadrul tezei pot fi utilizate de laboratoare de cercetare, institutii specializate in supraveghere video si securitate, controlul documentelor protejate, inspectarea video a placilor electronice etc.

## 7. Lista de lucrări publicate

### 7.1 Articole publicate in reviste de specialitate.

- [1]. T. Necsoiu, G. Bostan, P. Sterian, M. Berteanu, Materials for security elements used in protected documents, optical examination methods. A review. Annals of the Academy of Romanian Scientists, Series on Science and Technology of Information ISSN 2066-8562 Volume 10, Number 1/2017
- [2]. T.Necsoiu, G. Bostan, P.Sterian, Spectrophotometric method for optimizing image capture conditions for inspecting protected documents, Journal of optoelectronics and advanced materials, Vol. 19, No. 11 - 12, November – December 2017, p. 729 - 737
- [3]. G. Bostan, P.Sterian, T.Necsoiu, A. P. Bobei, C. D. Sarafoleanu The slanted-edge method application in testing the optical resolution of a vision system, Journal of optoelectronics and advanced materials, Vol. 21, No. 1-2, January-February 2019, p. 22-34
- [4]. M.Mhăilescu, A.Craciun, R.A.Gabor, C.A.Nicolae, M.Pelteacu, B.Comanescu, G.Bostan Diffractive microstructures with twin focal points, U.P.B. Sci. Bull, Serries A, Vol. 80, Iss. 2, 2018, ISSN 1223-7027
- [5]. T.Necsoiu, G. Bostan, P.Sterian, Results on the optical trannsfer function of the optical systems evaluation by slanted edge method, Journal of Physics: conf. series 1297, 2019.

### 7.2 Conferinte Comunicari Stiintifice.

- 1. T.Necsoiu, G. Bostan, P.Sterian, Materiale pentru elemente de protectie utilizeaza in documentele protejate, metode optice de examinare, Comunicare știintifică The fifth edition of the International Colloquium “Physics of Materials” - PM-5; organized by the University POLITEHNICA of Bucharest, and the Academy of Romanian Scientists, between November 10-11, 2016
- 2. T.Necsoiu, G. Bostan, P.Sterian, Metoda spectrofotometrica de optimizare a conditiilor de captare a imaginilor cu ajutorul camerei video pentru inspectarea documentelor protejate, Comunicare știintifică, Sesiunea Științifică de Toamnă a Academiei Oamenilor de Știință din România, Timișoara 12 -14 octombrie 2017
- 3. T.Necsoiu, G. Bostan, P.Sterian, Testarea rezoluției optice a unui sistem imagistic robotizat prin metoda "SLANT EDGE", comunicare stiintifica., la Conferinta științifică de primăvară 2018 a Academiei Oamenilor de Știință din România, 30 martie 2018, București.

4. T.Necsoiu, G. Bostan, P.Sterian, Modelarea gradientului de lumina in calculul functiei de transefr a modulatiei pentru un sistem optic prin metoda marginii inclinate, comunicare stiintifica la Simpozionul anual al doctoranzilor SD-ETTI-B editia I, 9 iulie 2018, Bucuresti

## 8. Bibliografie selectiva

- [1] Rudolf L van Renesse, *A review of holograms and other microstructures as security features*, vol. 78, Springer Verlag, 2003.
- [2] Peter Bamfield, The Technological Application of Colour Chemistry, The Royal Society of Chemistry, 2001.
- [3] PRADO Glossary, Brussels: Council of the European Union General Secretariat, Directorate-General Justice and Home Affairs, 2015.
- [4] *Photographylife.com*, <https://photographylife.com/what-is-a-decentered-lens>.
- [5] Bernd Jahne, Image Processing for Scientific and Technical Application, 2nd ed., University of Heidelberg: CRC Press, 2004.
- [6] Opticos Corporation, How to measure MTF and other properties of lenses, 1999.
- [7] <https://www.trioptics.com/knowledge-base/mtftesting-measurement-inspection-modulation-transferfunction/>.
- [8] <https://www.photoblog.com/learn/prime-vs-zoomlenses-which-is-best/>.
- [9] M.H.Chang, D.Das, et all, *Light Emitting Diodes Review*, Microelectronics Reliability, Vol. 52, Issue 5, 2012.
- [10] hinn-Fwu Wang, Hung-Chen Chung et all, *A Study of Controlling Color Mixing of Red, Green, and Blue LEDs Based on Photometry Theory*, Sensor Letters, Vol. 10, No. 5/6, 2012.
- [11] F. H. Perrin, *J.S.M.P.T.E.*, (69), 1969.
- [12] E. Hecht, Optics 5ed., Adelphi University, Boston, Columbus, Indianapolis, New York, San Francisco, Pearson Education Limited, Edinburg Gate, Harlow Essex CM20 2JE England, 2017.
- [13] H. Maître, From Photon to Pixel 2nd Ed, London, Hoboken, NJ 07030: ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc., 2017.
- [14] E. A. K. A. O. A. G. J. Erik Reinhard, Color imaging Fundamentals and applications, Wellesley, Massachusetts: A K Peters, LTD, 2008.
- [15] Joice Farrell, Manu Parmar, Peter Catrysse and Brian Wandell, "Digital Camera Simulation," *Applied optics*, vol. 51, no. 4, pp. A80-A90, 2012.
- [16] Antonio Robles-Kelly, Cong Phuoc Huynh, *Imaging Spectroscopy for Scene Analysis*, London: Springer-Verlag, 2013.
- [17] C. Spulber et al, *13th International School on Quantum Electronics, sep, 2004*, Bourgas, Bulgaria: Proceedings of The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) 5830, 434, 2005.
- [18] L. B. Wolff, *Journal of the Optical Society of America* 11(11), 2956, 1994.
- [19] Hsien-Che Lee, Introduction to Color Imaging Science, New York: Cambridge University Press, 2005.
- [20] Constantin Rosu, et al, *Modern Physics Letters B* 24(1), 65, 2010.

- [21] A. A. Popescu, R. Savastru, D. Savastru, et al, *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 6(3), 1245, 2011.
- [22] D. Manaila-Maximean, C. Rosu, *Molecular Crystals and Liquid Crystals* 413(1), 9, 2004.
- [23] D. A. Kerr, *Colorimetric characterization of digital camera sensors*, [http://dougkerr.net/Pumpkin/#Colorimetric\\_Characterization](http://dougkerr.net/Pumpkin/#Colorimetric_Characterization), 2015.
- [24] A. Hornberg, *Handbook of Machine Vision*, Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KgaA, 2006.
- [25] Dima, M.; Dulea, M.; Aranghel, D.; et al, *Optoelectronics and advanced materials-rapid communications Volume: 4 Issue: 11 Pages: 1840-1843*, 2010.
- [26] Sterian, A. R.; Sterian, P.E., *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2012, Article ID 347674, doi:10.1155/2012/347674, p. 12,, 2012.
- [27] Hamamatsu, *CMOS sensors for spectroscopy and industrial applications*, [https://www.hamamatsu.com/us/en/community/optical\\_sensors/articles/cmos\\_sensors\\_spec\\_toscopy\\_index.html](https://www.hamamatsu.com/us/en/community/optical_sensors/articles/cmos_sensors_spec_toscopy_index.html).
- [28] T. NECSOIU, G. BOSTAN, P. STERIAN, *Spectrophotometric method for optimizing image capture conditions for inspecting protected documents*, *JOURNAL OF OPTOELECTRONICS AND ADVANCED MATERIALS*, Vol. 19, No. 11 - 12, 2017.
- [29] B. Tatian, *J. Opt. Soc. Amer.* 55 1014, 1965.
- [30] F.H. Perrin, Methods of Appraising Photographic System, Manipulation and Significance of the Sine Wave Responce Function, J.S.M.P.T.E., (69), 1969.
- [31] C. Roșu, D. Manaila-Maximean, et al, *Liquid Crystals* 38(6), 757, 2011.
- [32] S. Miclos, D. Savastru et al, *Composite Structures* 183, 521, 2018.
- [33] M. Sohaciu, S. Ciucă et al, *Optoelectron. Adv. M.* 10(3-4), 257, 2016.
- [34] C. Rosu, D. Manaila-Maximean et al, *Modern Physics Letters B* 16(13), 473, 2002.
- [35] [http://stanfordcomputeroptics.com/download/resolution\\_iccd\\_mtf.pdf](http://stanfordcomputeroptics.com/download/resolution_iccd_mtf.pdf).
- [36] Ralph E. Jacobson, *The Manual of Photography*, ninth edition, Boston: Focal Press, 2000.
- [37] Glenn D. Boreman, *Modulation Transfer Function in Optical and Electro-Optical Systems*, Bellingham, Washington: SPIE-The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 2001.
- [38] Eugene Hecht, *Optics* 5ed, Adelphi University, Boston, Columbus, Indianapolis, New York, San Francisco, Pearson Education Limited, Edinburg Gate, Harlow Essex CM20 2JE England, 2017.
- [39] Shuma Horiuchi, Shuhei Yoshida, and Manabu Yamamoto, *Simulation of modulation transfer function using a rendering method*, Vols. Vol. 21, No. 6, Department of Applied Electronics, Tokyo University of Science, Yamasaki 2641, Noda, Chiba, 2013.
- [40] <https://blocknotfotografa.ru/mtfmodulation-transfer-function-chastotno-kontrastnyexarakr/>.
- [41] <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=64473578>.
- [42] Peter Burns, *Slanted-edge Analysis for digital camera and scanner*, International Imaging Industry Association, 2015.
- [43] Peter Burns, *Slanted-edge Analysis for digital camera and scanner*, International Imaging Industry Association; [http://losburns.com/imaging/software/SFRedge/sfrm3\\_post/index.html](http://losburns.com/imaging/software/SFRedge/sfrm3_post/index.html), 2015.
- [44] Marinica Mirzu, Teodor Necsoiu,, Metode moderne ale opticii pentru calculul sistemelor optoelectronice, Bucuresti: Institutul de Optoelectronica-S.A. (IOEL-S.A.), 1998.
- [45] Ehsan Samei and Michael J. Flynn, David A. Reimann, *A method for measuring the presampled MTF of digital radiographic systems using an edge test device*, Detroit, Michigan 48202: Department of Diagnostic Radiology, Henry Ford Health System, and Department of Nuclear Engineering and Radiological Sciences, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan 48109, 1998.

- [46] D. Savastru, S. Miclos et al, *J. Optoelectron. Adv. M.* 18(11-12), 993, 2016.
- [47] I. Dancus, S. T. Popescu, A. Petris, *Optics express* 21(25), 31303, 2013.
- [48] D. Craciunescu, P. Sterian, L. Fara et al, *Optoelectron. Adv. M.* 11(5-6), 298, 2017.
- [49] Roger Easton, *Optics of Imaging Systems Course Notes*, Rochester Institute of Technology, 2012.