

EXPERTIZE – LABORATOR 8

## ANALIZA EXPERIMENTALA A TENSIUNILOR SI DEFORMAȚIILOR PRIN METODA CORELĂRII DIGITALE A IMAGINILOR

- 
1. *Introducere*
  2. *Scurt istoric*
  3. *Sistemul optic al camerei foto*
  4. *Adâncimea câmpului vizual*
  5. *Câmpul de vedere*
  6. *Transformarea perspectivei modelului în imagine plană*
  7. *Fotografia digitală*
  8. *Principiul corelării digitale a imaginilor*
  9. *Aplicarea metodei corelării digitale a imaginilor în ingineria mecanică*
  10. *Program Matlab pentru corelarea imaginilor*
  11. *Experimente desfășurate, rezultate obținute și concluzii*
- 

### 1. Introducere

Corelarea digitală a imaginilor face parte dintr-o clasă de metode de determinare fără contact a formei, măsurarea deformațiilor sau mișcării care implică preluarea, stocarea și analizarea imaginilor în format digital. Potrivirea imaginilor se poate face cu ajutorul mai multor tipuri de modele-obiect cum ar fi linii, griduri, puncte sau matrici aleatoare. Una din cele mai întâlnite abordări este utilizarea modelelor aleatoare și compararea sub-regiunilor extrase din imagine pentru realizarea măsurărilor.

### 2. Scurt istoric

Fotogrammetria are la baza scrierile lui Leonardo da Vinci 1492 și a fost dezvoltată 3 secole mai târziu. Primele fotografii realizate în acest scop au fost făcute de Daguerre în 1837. Unele dintre primele încercări în privința corelației imaginilor a fost făcută în prima parte a anilor 50 de Gilbert Hobrough (1919-2002) care a comparat reprezentarea analogică pentru înregistrarea trasaturilor din mai multe vederi. Imaginile digitale devenind disponibile în anii '60 și '70, cercetătorii în domeniul inteligenței artificiale și roboticii au început să dezvolte algoritmi bazati pe vizualizare și vizualizare stereoscopică în paralel cu fotogrammetria pentru fotografiile din aer. În timp ce metodele de analiză a imaginilor au crescut exploziv, în domeniul mecanicii solidului accentul s-a pus pe aplicarea tehnologiilor recent dezvoltate bazate pe laser.

Una dintre primele lucrări în care a fost propusă achiziția imaginilor cu ajutorul calculatorului și **masurarea deformațiilor** a fost scrisă de Peters și Ranson în 1982. Metoda sugerează compararea imaginilor pentru mici regiuni extrase din imaginile preluate înainte și după deformare, localizarea pozițiilor pentru aceste regiuni după deformare prin analiza digitală a imaginilor. Pentru ilustrare, autorii sugerează folosirea conceptelor din mecanica solidului care guvernează deformațiile zonelor mici ca parte din procesul de potrivire. În 1983 Sutton, prin folosirea acestei abordări a dezvoltat algoritmi numerici și a efectuat experimente în care a folosit imagini înregistrate optic, metoda cunoscută azi ca 2D DIC. Anderson s.a. prin utilizarea acestui algoritm a efectuat măsurări și a demonstrat că pot fi estimate cu

suficienta precizie atât translații cât și rotații în plan. În 1985 au fost efectuate o serie de experimente care au demonstrat că metoda poate fi aplicată cu succes pentru **determinarea deformațiilor corpurilor solide**.

În anii '90 metoda 2D DIC s-a dezvoltat și a fost utilizată în mai multe domenii: măsurarea deformațiilor în plan, mecanica rupei – înțelegerea comportamentului diferitelor materiale la sollicitări, măsurarea deformațiilor în cazul obiectelor fierbinti după câteva ore ș.a. În ultimul timp, utilizarea metodei 2D DIC a început să se îndrepte spre deformațiile mici în domeniul nano și micro. Prin utilizarea tehnicii Scanning tunneling microscopy și 2D DIC, la începutul anilor '90 a fost posibilă determinarea deformațiilor în zone cu dimensiuni sub un micron.

### 3. Sistemul optic al camerei foto

Un sistem optic simplu pentru o cameră foto este compus dintr-o singură lentilă subțire ideală. În realitate, sistemul optic este format din mai multe lentile. Raza incidentă pe o suprafață este descrisă prin unghiul de incidență față de normală la suprafață. Lentila subțire, în acest sens și prin definiție, trebuie să aibă o grosime neglijabilă prin comparație cu distanța focală sau oricare dintre dimensiuni. Prin aproximarea Gauss se admite că raza incidentă face un unghi mic față de axa optică a lentilei și raza incidentă trece prin axa optică și traversează sistemul optic. Adică se poate aproxima că unghiul incident este aproximativ egal cu sinusul și tangenta unghiului. Folosirea acestei aproximări simplificatoare conduce la următoarele constatări:

- ~ dacă raza trece prin centrul lentilei, raza nu va fi deviata;
- ~ toate razele paralele trec prin planul focal al lentilei;
- ~ raza care trece prin lentila subțire va fi deviata în planul mediu al lentilei.

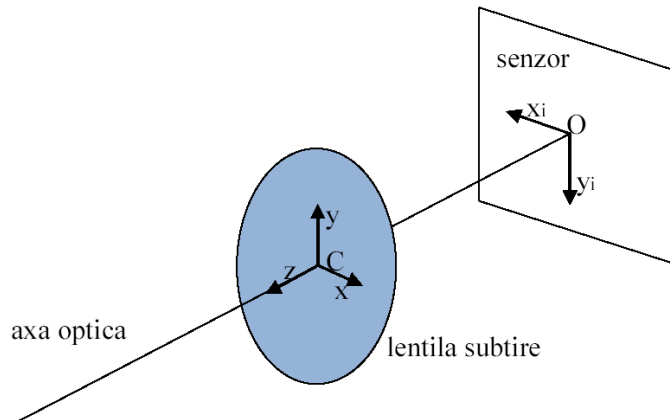


Fig. 1 Sistemul optic simplificat al camerei foto

Originea sistemului de coordonate este luată în punctul C, în centrul lentilei subțiri, cu axa z în lungul axei optice și cu sensul pozitiv spre obiect. Datorită principiului formării imaginii se observă inversarea sistemului de coordonate din planul senzorului  $Ox_iy_i$ : imaginea proiectată pe plan fiind rasturnată. Originea acestui sistem de referință se află la intersecția axei optice cu planul senzorului. În Fig 2. Sunt prezentate elementele geometrice și principiul formării imaginii punctului  $M(x,y,z)$  pe planul senzorului  $P_i$  al unei camere foto. Elementele geometrice sunt:

- punctul  $M(x,y,z)$  în sistemul de coordonate al lentilei;
- punctul C, aflat în centrul lentilei, pe axa optică;
- focarul obiect al lentilei F aflat la distanța  $z = +f$ , față de C;

- distanța focală a lentilei  $\bar{f}$  ;
- focarul imagine al lentilei  $F'$  aflat la distanța  $z = -\bar{f}$  fata de C;
- imaginea ideală a punctului M,  $M'$  aflat la distanța focală optimă;
- imaginea punctului M pe planul  $P_i$ ,  $M''$ ;
- distanța dintre lentila subțire și planul senzorului  $\gamma$ ;

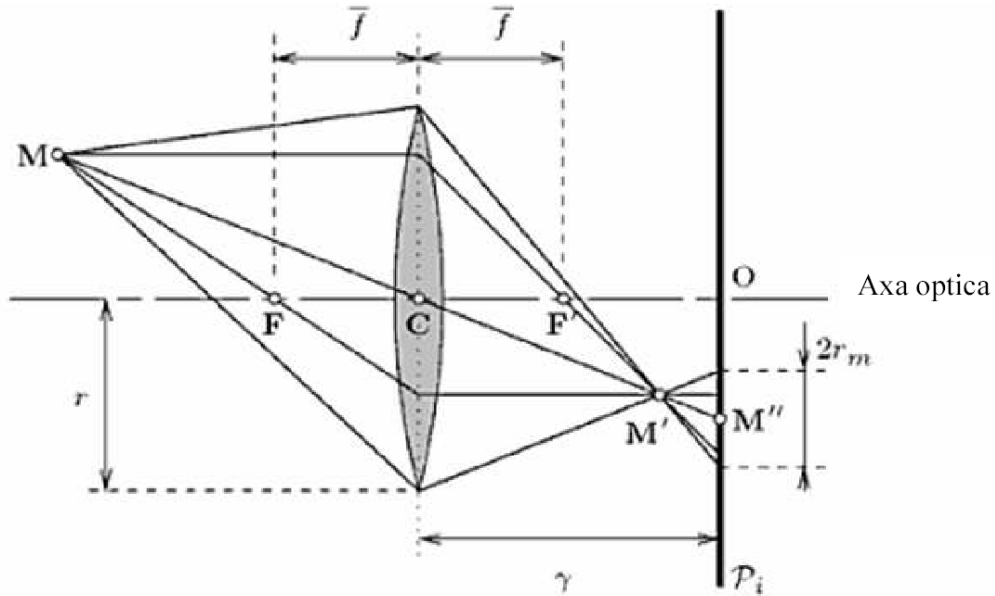


Fig. 2 Elementele geometrice ale sistemului optic

În procesul de formare a imaginii ilustrat în Fig. 2 transformarea punctului M în imaginea sa  $M'$  se face pe baza următoarelor ecuații:

$$\frac{y}{CM} = \frac{-y'}{CM'}$$

$$\frac{1}{CM} + \frac{1}{CM'} = \frac{1}{\bar{f}}$$

Combinarea acestor ecuații pentru componentele y-z și folosind proprietatea de izotropie a imaginii și includerea distanței pe axa x a punctului M, conduce la următoarele relații:

$$x' = \frac{-x\bar{f}}{z - \bar{f}}$$

$$y' = \frac{-y\bar{f}}{z - \bar{f}}$$

$$z' = \frac{-z\bar{f}}{z - \bar{f}}$$

unde  $z$  este distanța până la proiecția punctului M pe axa optică. Pentru obținerea unei imagini clare este necesară condiția ca distanța între lentilă și plan să fie egală cu proiecția pe axa optică a punctului  $M'$ :  $\gamma = -z'$ . Acest lucru conduce la:

$$z = \frac{\bar{f}}{\gamma - \bar{f}}$$

În sistemul de coordonate inversat cu originea în punctul O pe axa optică, coordonatele imaginii punctului M sunt:

$$x'_i = x \left[ \frac{\gamma - \bar{f}}{\bar{f}} \right] = \frac{x\gamma}{z}$$

$$y'_i = y \left[ \frac{\gamma - \bar{f}}{\bar{f}} \right] = \frac{y\gamma}{z}$$

Din Fig. 2 se poate observa că punctul M' nu se află în planul senzorului fapt care conduce la estomparea imaginii. Coordonatele punctului M'' sunt:

$$M'' = \begin{Bmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} r \cos \beta + r \cos \beta \left( 1 + \frac{\gamma(\bar{f} - z)}{z\bar{f}} \right) \\ r \sin \beta + r \sin \beta \left( 1 + \frac{\gamma(\bar{f} - z)}{z\bar{f}} \right) \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -\frac{x\gamma}{z} \\ -\frac{y\gamma}{z} \\ -\gamma \end{Bmatrix}$$

Raza zonei estompate a imaginii punctului M se determină cu relația:

$$r_{M''} = r_l \left( 1 + \frac{\gamma(\bar{f} - z)}{z\bar{f}} \right)$$

unde  $r_l$  este raza lentilei. Centrul zonei estompate este imaginea punctului M pe planul senzorului, punctul M'' ale cărui coordonate sunt:

$$M'' = \begin{Bmatrix} -\frac{x\gamma}{z} \\ -\frac{y\gamma}{z} \\ -\gamma \end{Bmatrix}$$

Reducerea razei zonei estompate se poate obține cu ajutorul diafragmei de apertură care poate fi plasată fie în fața fie în spatele lentilei.

#### 4. Adâncimea câmpului vizual

Adâncimea câmpului vizual este definită ca distanța din fața și spatele obiectului care poate fi proiectată cu suficientă focalizare. Cum se poate observa în Fig. 2 un sistem simplu de lentile are o singură suprafață de focalizare. La orice altă distanță un obiect punctual este defocalizat și va produce o estompare a imaginii. Dacă imaginea punctului este suficient de mică poate fi considerată punct. În această situație punctul apare focalizat acceptabil. După cum se poate observa în Fig. 2 adâncimea câmpului vizual este determinată de distanța până la obiect, distanța focală a lentilei, distanța până la planul senzorului. Adâncimea câmpului vizual poate fi scăzută prin:

- mărirea imaginii prin apropierea de obiect (cazul microscopului);
- mărirea imaginii prin creșterea distanței focale pentru distanțe fixe până la obiect;
- creșterea diametrului diafragmei de apertură.

Adâncimea câmpului vizual poate fi crescută prin:

- micșorarea imaginii prin creșterea distanței;
- micșorarea imaginii prin descreșterea distanței focale;
- descreșterea diametrului diafragmei de apertură.

## 5. Câmpul de vedere

Câmpul de vedere este extensia unghiulară a unei scene pe care camera poate să o proiecteze Fig.3. Pentru lentile cu proiecție rectilinie (fără distorsiuni spațiale) distanța focală și formatul imaginilor definesc complet unghiul de vedere.

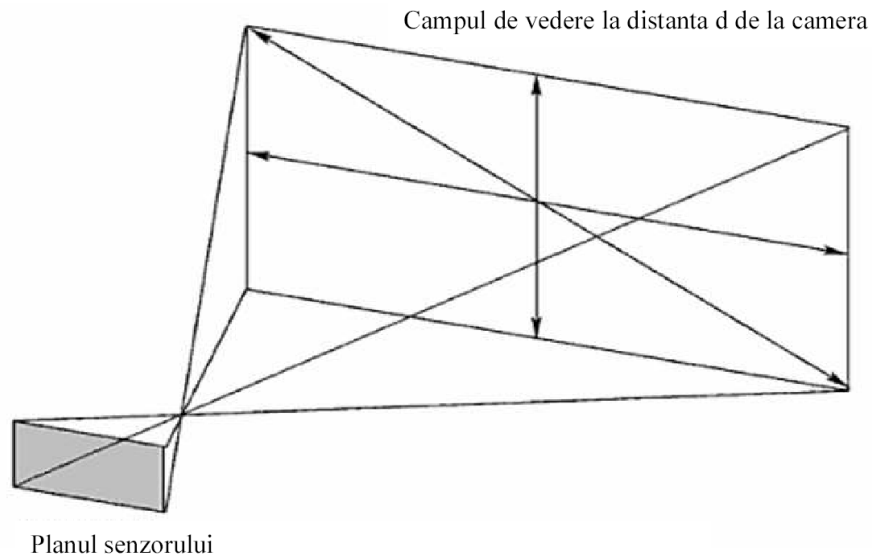


Fig. 3. Câmpul de vedere

În Fig. 4. se consideră un sistem optic de cameră foto și un obiect aflat la distanța  $S_1$ . Dimensiunea maximă a câmpului de vedere este obținută când sistemul optic al camerei generează o imagine de dimensiune egală cu cea a senzorului.

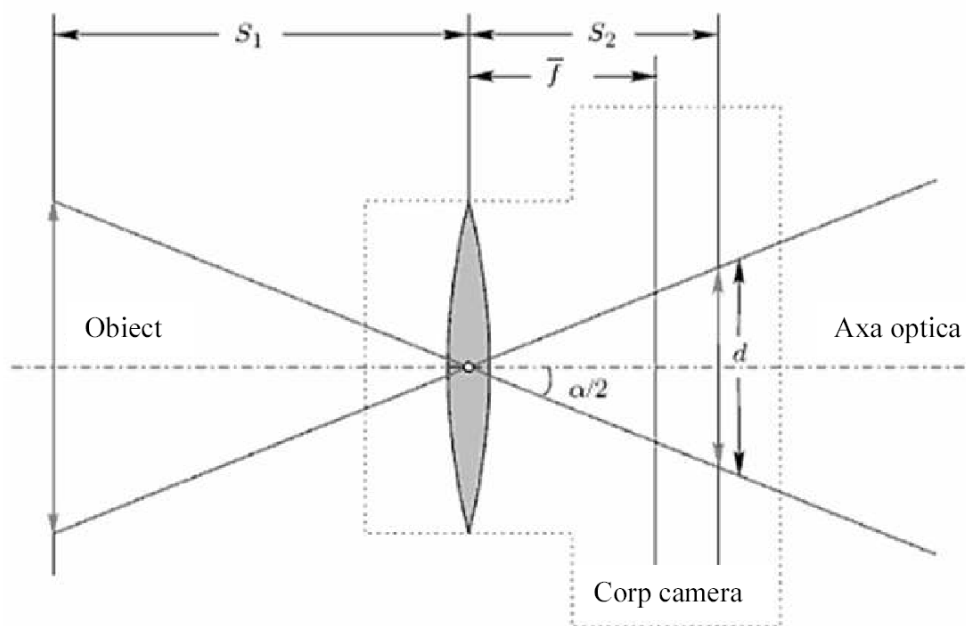


Fig. 4. Unghiul de vedere

Unghiul  $\alpha$  al cărui semiunghi este format între axa optică a lentilei și unghiul razei care unește centrul optic cu marginea senzorului de imagine este unghiul de vedere al camerei. Valoarea unghiului de vedere sau deschidere al camerei se determină cu relația:

$$\alpha = 2 \arctan \frac{d}{2S_2}$$

Pentru proiectarea unor imagini clare ale obiectelor aflate la distanță, S2 trebuie să fie egal cu distanța focală. În această situație deschiderea camerei este dată de relația:

$$\alpha = 2 \arctan \frac{d}{2f}$$

## 6. Transformarea perspectivei modelului în imagine plană

Utilizând relațiile de mai sus pentru lentilele subțiri se obțin următoarele ecuații de transformare pentru obținerea imaginii punctului M în plan:

$$M'' = \begin{Bmatrix} -\frac{x\gamma}{z} \\ -\frac{y\gamma}{z} \\ -\gamma \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\gamma}{z} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{\gamma}{z} & 0 \\ 0 & 0 & -\gamma \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{Bmatrix}$$

Ecuația de mai sus demonstrează că poziția senzorului nu este o funcție liniară de  $z$  – distanța de la obiect la lentilă pentru acest model cu lentilă subțire. Pentru a îndepărta dependența de  $z$  a acestei matrici ea se poate converti într-o formă omogenă în care intervine un factor de scală. Forma de mai jos este cunoscută ca transformare proiectivă sau proiectarea în perspectivă a poziției spațiale a punctului M în planul senzorului.

$$\alpha \begin{Bmatrix} -x'' \\ -y'' \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{Bmatrix},$$

unde  $\alpha$  este factor de scală.

## 7. Fotografia digitală

Fotografia digitală este o formă de fotografie care utilizează tehnologii digitale pentru obținerea de imagini ale unor subiecte. În trecut fotografia se baza pe folosirea filmelor fotografice iar imaginile se obțineau prin procedee fotografice. Fotografiile digitale pot fi afisate, tipărite, memorate și manipulate, transmise sau arhivate folosind tehnici digitale cu ajutorul calculatorului fără procesare chimică. Imaginile digitale pot fi obținute și prin procedee nefotografice cum ar fi radiotelescopul sau tomograful sau prin scanare. Camera digitală are în componență un sistem de senzori prevăzuți cu filtre de culoare care citesc intensitatea luminii și memorii numerice pentru stocarea informațiilor imaginii. Cei mai răspândiți senzori de imagine sunt de tip CCD (charged coupled device) care sunt regisrii de deplasare analogici care permit transportul sarcinilor electrice prin mai multe etape succesive sub controlul unui semnal de ceas. Un alt tip de senzor este de tip CMOS care este activ la nivel de pixel. Un astfel de senzor este constituit dintr-o matrice  $n \times m$  elemente (pixeli) fiecare la rândul său cu câte 3 elemente fotosensibile câte unul pentru fiecare culoare fundamentală (cazul camerei color). Numărul de pixeli este în strânsă legătură cu rezoluția și formatul imaginii. Dimensiunea în octeți a unei imaginii digitale necomprimată este de asemenea cu atât mai mare cu cât numărul de pixeli este mai mare. Prin procedee de prelucrare și

comprimare imaginile digitale pot fi aduse la dimensiuni mult mai mici în funcție de formatul de fișier. Numărul de culori este dat de formatul imaginii: alb/negru, scară de gri, color 16 biți, color 256 de nivele/culoare etc. În general sistemele de corelare digitală a imaginilor folosite pentru analiza deformațiilor, deplasărilor, pozițiilor și stărilor de tensiuni utilizează diferite formate de imagine cu informații de culoare în scară de gri sau alb/negru.

## 8. Principiul corelării digitale a imaginilor

Corelarea digitală a imaginilor a devenit o chestiune de comparare a unor seturi de numere între două imagini digitale. O funcție tipică de corelație care măsoară cât de bine se potrivesc seturile este:

$$S(x, y, u, v, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, \frac{\partial v}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}) = 1 - \frac{\sum [F(x, y) * G(x^*, y^*)]}{\sqrt{\sum (F(x, y)^2) * \sum (G(x^*, y^*)^2)}}$$

Unde  $F(x, y)$  este nivelul de gri în punctul de coordonate  $x$  și  $y$  pentru o imagine iar  $G(x^*, y^*)$  este nivelul de gri din punctul de coordonate  $(x^*, y^*)$  din cea de a doua imagine. Legătura dintre cele două perechi de coordonate este dată de deformarea sau deplasarea care a avut loc între momentele în care au fost achiziționate cele două imagini. Dacă deplasarea obiectului față de camera este paralelă cu planul imaginii atunci se poate scrie:

$$x^* = x + u + \frac{\partial u}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial u}{\partial y} \Delta y$$

$$y^* = y + v + \frac{\partial v}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial v}{\partial y} \Delta y$$

unde  $u$  și  $v$  sunt deplasările centrelor seturilor de puncte în direcția  $x$  și respectiv  $y$ . Termenii  $\Delta x$  și  $\Delta y$  sunt distanțele de la punctul de coordonate  $(x, y)$  la centrul subsetului de puncte.

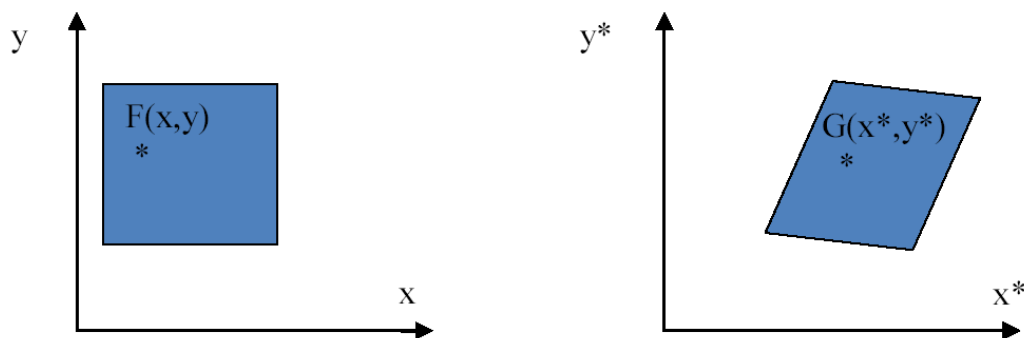


Fig. 5 Principiul corelării imaginilor

## 9. Aplicarea metodei corelării digitale a imaginilor în ingineria mecanică

Echipament:

- sursa de lumină difuză fără cerințe deosebite;
- o cameră de rezoluție înaltă pentru analiză 2D;
- computer capabil să ruleze programe dedicate sau scrise în diferite medii de programare.

Principiu:

- se efectuează două fotografii ale probei, una înainte și una după aplicarea solicitării;
- cele două imagini sunt procesate prin corelație rezultând câmpuri de deplasări.

Mod de lucru:

- suprafața probei este stropită în vederea creerii unui model aleatoriu de puncte;
- fotografierea probei înainte și după aplicarea solicitării;
- imaginile digitale ale probei vor conține deplasări ale pixelilor;
- prin determinarea distanțelor între zone de pixeli și intensitatea luminoasă a acestora se pot face analiza cu precizie de sutimi de pixel;

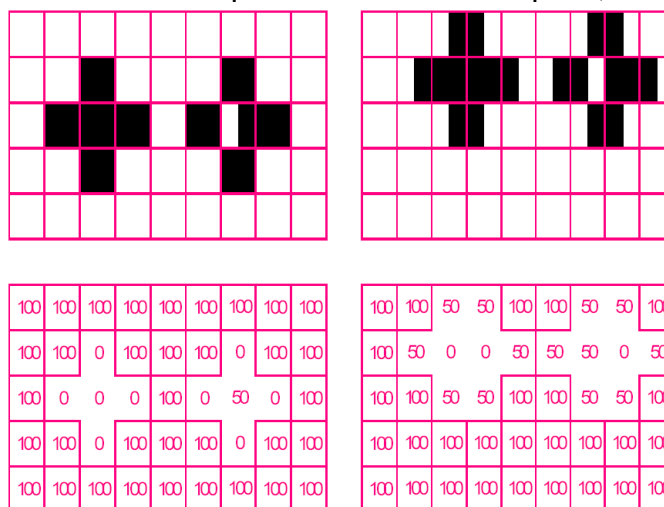
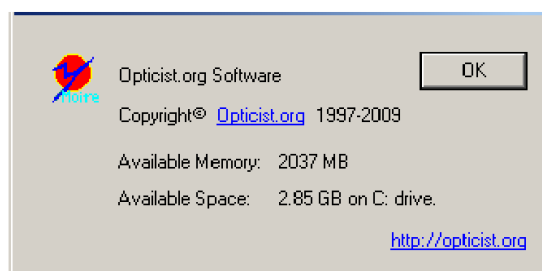


Fig. 5. Rezoluție sub-pixel

## 10. Opticist.org program free pentru analiza tensiunilor prin metoda corelării imaginilor

Programul este special destinat analizei tensiunilor prin corelarea digitală a imaginilor precum și module de analiză optică pe baza interferometriei. În principiu, utilizarea este simplă dar necesită cunoștințe de nivel ridicat din partea utilizatorului. Proba va trebui să aibă pe suprafața de interes un model de puncte aleatoare cu dimensiuni de ordinul 1..2 pixeli (în funcție de rezoluția imaginii) într-o culoare care să contrasteze cât mai puternic cu fondul probei. Programul folosește 2 fișiere imagine preluate digital. Acestea trebuie să fie în format BMP și cu o adâncime de culoare de 8 biți, 256 de culori. În cazul în care formatul fișierelor este de alt tip, programul dispune de opțiunea „Convert true color image to 256 gray” disponibilă în meniul Tools.

Analiza 2D DIC începe prin încărcarea a două fișiere cu imagini preluate digital și transformate în formatul mai sus descris. Ambele imagini pot fi folosite ca referință însă rezultatul se va raporta la imaginea din fereastra activă în momentul declanșării operației. Pe imaginea deformată, în cazul deformațiilor mari, se recomandă trasarea domeniului de interes Boundary. Domeniul de interes poate fi salvat împreună cu imaginea și refolosit. Ca domeniu de interes se poate stabili întreaga probă. La stabilirea domeniului este indicat să se excludă zonele care ar putea afecta rezultatele. De exemplu o gaură străpunsă în cazul unei plăci. Următorul pas este stabilirea dimensiunii subsetului (în pixeli) și a numărului de pași pentru găsirea subsetului în a doua imagine. Mărimea subsetului va fi în corespondență cu rezoluția imaginii și dimensiunile punctelor. O mărime mare aleasă conduce la un număr mai mic de puncte de analizat și la un zgomot mai mare dar reduce considerabil timpul de calcul. Acuratetea rezultatelor obținute variază foarte mult în funcție de calitatea imaginii și parametrii aleși putând varia până la 2 ordine de mărime în cazul deformațiilor specifice. Avantajele pe care le prezintă acest program sunt:





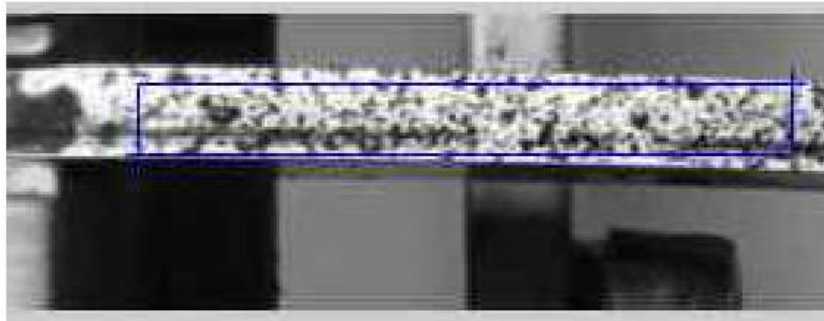
- simplitate în ceea ce privește utilizarea;
- mod de lucru interactiv cu interfața grafică;
- dispune de filtre și mijloace pentru prelucrarea imaginilor;
- poate analiza deformații mari;
- afișarea rezultatelor în formă grafică.

## 11. Program Matlab pentru corelarea imaginilor

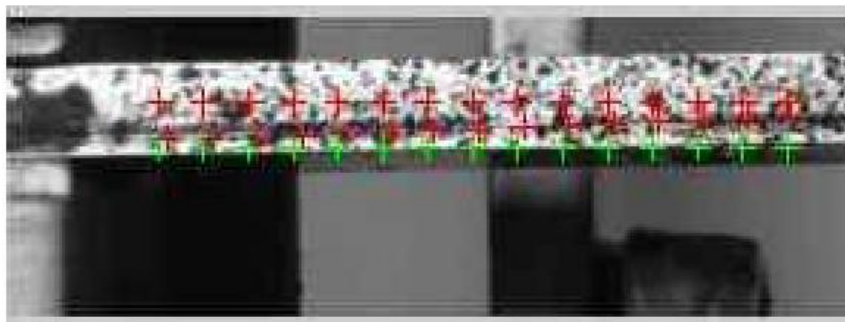
Acest program cuprinde mai multe module scrise de subsemnatul în mediul de programare Matlab. Pentru corelarea digitală a imaginilor programul de analiză folosește un modul inclus în clasa de instrumente pentru prelucrarea imaginilor, `cpcorr.m`. Sunt de asemenea necesare două fișiere imagine ale probei preluate înainte și după deformare. Se va acorda atenție asupra poziției camerei foto întrucât, până la această versiune nu am introdus posibilitatea deplasării imaginilor pentru potrivire, diferențele de poziție din timpul preluării imaginilor transformându-se în deplasări sau deformații afectează rezultatele.

Pentru stabilirea deformațiilor și deplasărilor se urmează următorii pași ghidați de program:

1. Programul se lansează cu comanda `2ddic`. Imediat solicită alegerea a două fișiere imagine, primul conținând imaginea probei nedeformată.
2. În imaginea probei deformate se stabilește prin două puncte alese interactiv dimensiunile în pixeli și poziția zonei de interes. Într-o fereastră de dialog se menționează desimea grilei în pixeli.
3. Modulul de analiză caută corespondența subseturilor de pixeli din imaginea deformată în imaginea referință și suprapune peste imaginea deformată punctele găsite.
4. Analiza deplasărilor și deformațiilor se face într-o fereastră interactivă din care se pot alege câte două puncte:



**Fig. 6. Stabilirea zonei de interes**



**Fig. 7. Afișarea subseturilor găsite**

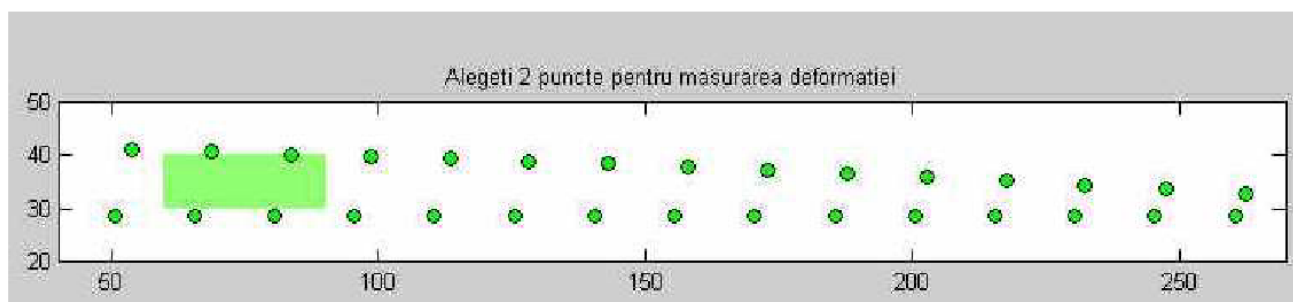


Fig. 8. Alegerea punctelor

In prezent programul este in lucru obiectivele imediate fiind:

- ✓ procedura pentru corectarea erorilor de preluare a imaginilor;
- ✓ sistem de corectie a distorsiunilor sistemului optic in cazul probelor cu gabarit mare;
- ✓ raportarea rezultatelor in unitati de masura corespunzatoare, in forma grafica si oferirea de posibilitati interactive de calibrare.

## 12. Experimente desfasurate, rezultate obtinute si concluzii

Pentru validarea metodei de determinare experimentală a tensiunilor prin metoda corelării digitale a imaginilor se utilizează rezultate ale experimentelor desfasurate in cadrul laboratoarelor Catedrei de Rezistenta Materialelor sau obtinute cu ajutorul unor sisteme de incarcare improvizate si cu ajutorul analizei cu elemente finite. Se folosesc probe din duraluminiu avand coeficientul de contractie transversala Poisson apropiat de 0.3 si modulul de elasticitate  $E=68.9$  GPa. Solicitarile aplicate probelor sunt statice, in domeniul elastic. Caracteristicile materialului se determina prin incercari pe mai multe probe din acelasi material. Proprietatile materialului determinate experimental constituie date de intrare pentru analiza prin metoda elementelor finite. Rezultatele obtinute prin FEM trebuie sa fie apropiate de rezultatele obtinute experimental.

### Experimentul 1.

Denumire: Solicitare statica la tractiune.

Obiectiv: Validarea metodei de analiza experimentală a tensiunilor metoda corelării digitale a imaginilor.

Locul de desfasurare: Laborator.

Echipament: Instron 8801, camera 8.3Mp

Proba: Platbanda 20x5mm

Material: Al6061.



prin  
foto

Fig. 9. Laborator. INSTRON 8801

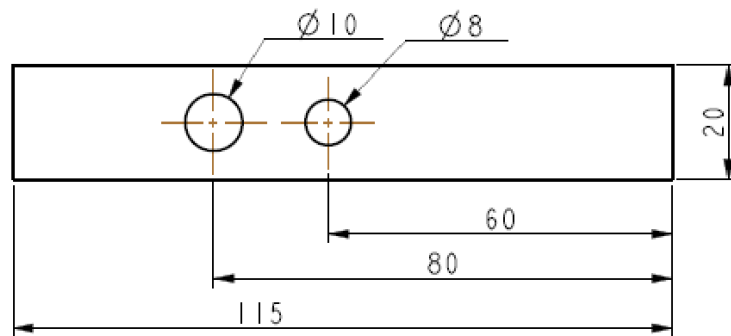


Fig. 10. Proba

Modul de lucru: Proba trebuie slefuită și se aplică un model aleatoriu de puncte de culoare neagră. Sarcina se aplică progresiv după o schemă de încărcare în care viteza de creștere a forței este de cca 30 N/s cu zone de palier de 15 s pentru preluarea imaginilor. Valorile prestabilite ale forței sunt de 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2 și 2.4 kN. Deformația probei se măsoară cu ajutorul extensometrului la care cu distanța de măsurare este de 50 mm și fixare peste cele două găuri.

Camera foto se montează pe trepied la o distanță de 600 mm de probă iar imaginea se panoramează astfel încât să cuprindă cca 60 mm, astfel încât tangenta semiunghiului de deschidere să fie cca 0,1.

### Rezultate:

- ✓ Se prelevează 4 imagini pentru forțe de solictare cuprinse între 0 și 1.6 kN cu rezoluții de 1, 2 și 4 Megapixeli.
- ✓ Se înregistrează deplasările date de extensometru
- ✓ Deformația maximă a probei corespunzătoare forței maxime de încărcare pentru distanța de 50 mm se apreciază prin analiza imaginilor;
- ✓ Rezultatul obținut prin DIC nu trebuie să fie afectat de zgomot.



Fig. 11. Imagine preluată

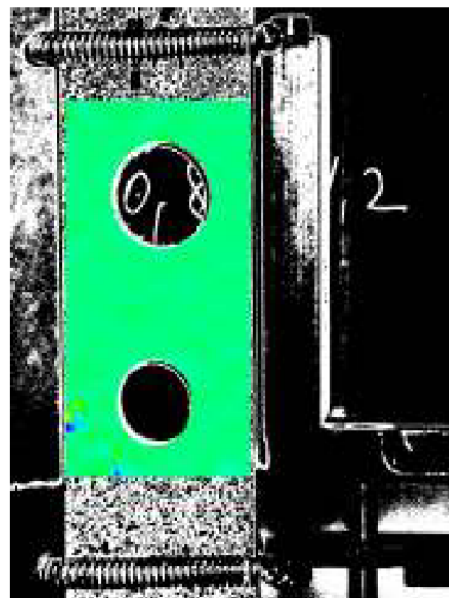


Fig. 12. Rezultat afectat de zgomot

Rezultatele obținute prin metoda analizei cu elemente finite trebuie să fie apropiate de rezultatele obținute prin DIC în ceea ce privește deformația.

### Experimentul 2.

Denumire: Solicitare statica la incovoiere.

Obiectiv: Validarea metodei de analiza experimentala a tensiunilor prin metoda corelarii digitale a imaginilor.

Locul de desfasurare: Atelier

Echipament: Sistem improvizat de incarcare, camera foto 8.3Mp

Proba: Platbanda 20x5mm

Material: Al6061.

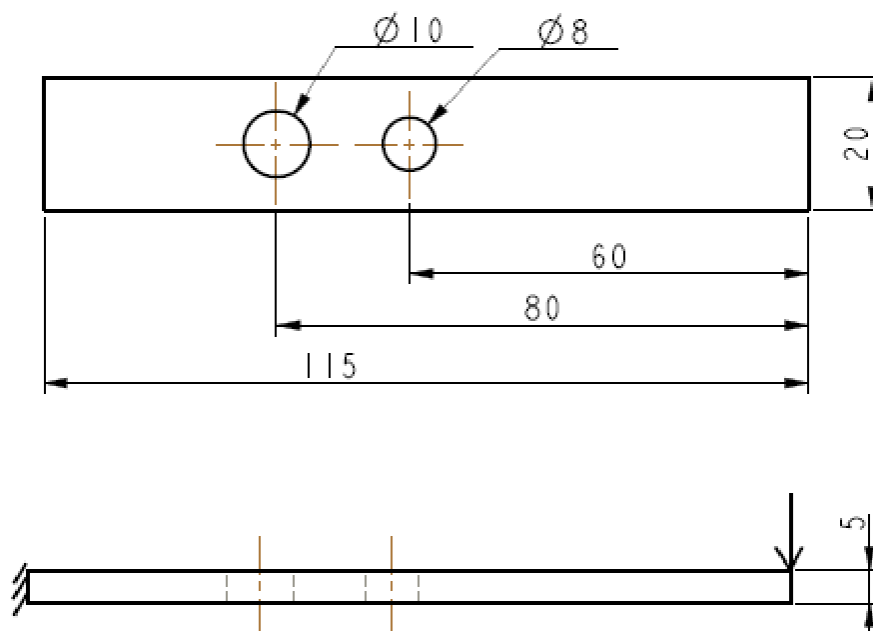


Fig. 13. Proba si incarcarea



Fig. 14. Sistem de incarcare improvizat

Modul de lucru: Initial incarcarea se realizeaza la 200N. Se masoara sageata corespunzatoare si se mentinut cu ajutorul menghinei manuale. Se preiau imaginile pentru proba deformata cu ajutorul camerei, se elibereaza proba si se fotografiaza din nou. Imaginile se prelucreaza in sensul adaptarii dimensiunilor in pixeli si pentru imbunatatirea contrastului.



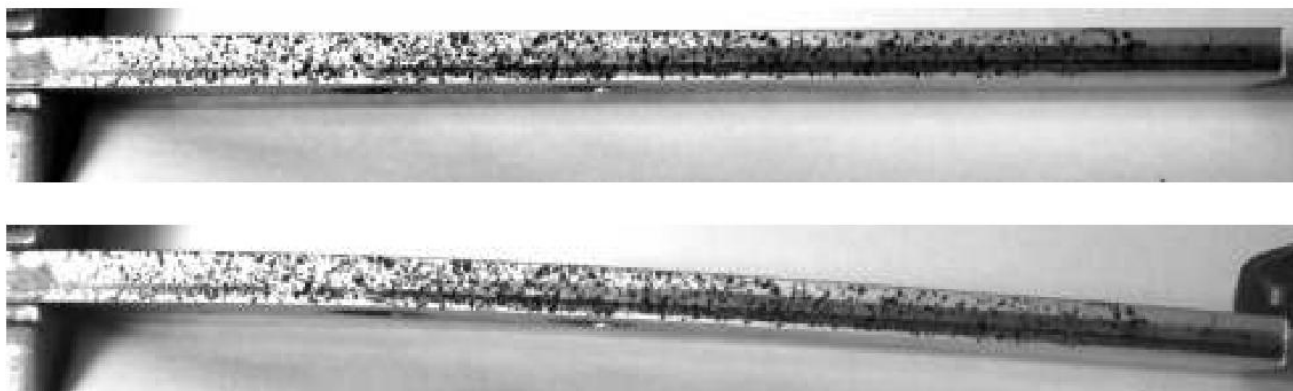


Fig. 15. Imagini prelucrate

Rezultate prin comparație cu FEM:

Pentru analiza FEM se utilizează modulul Mechanica din Pro/Engineer Wildfire 4.

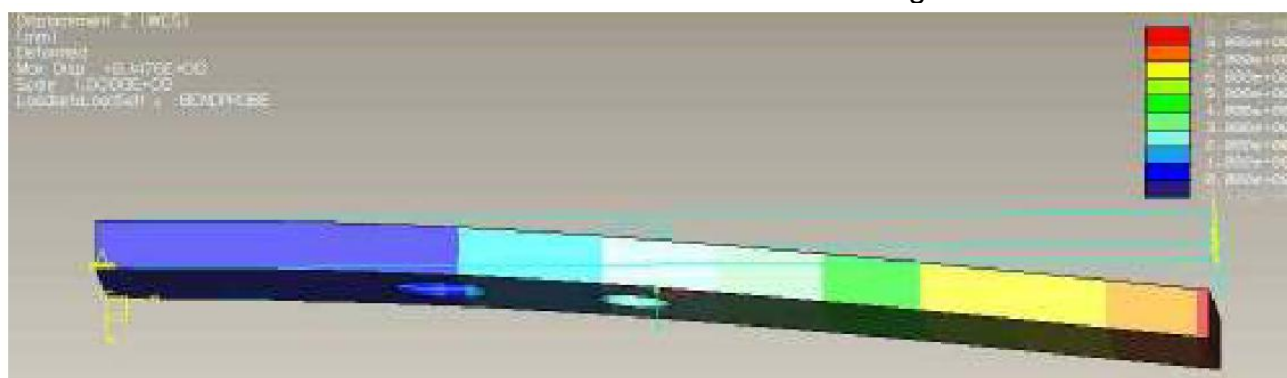


Fig. 16. Rezultat FEM

Sageata obtinuta experimental a fost de 8.5 mm fata de 8.147 mm rezultata din FEM.

Rezultate prin comparație cu 2D-DIC:

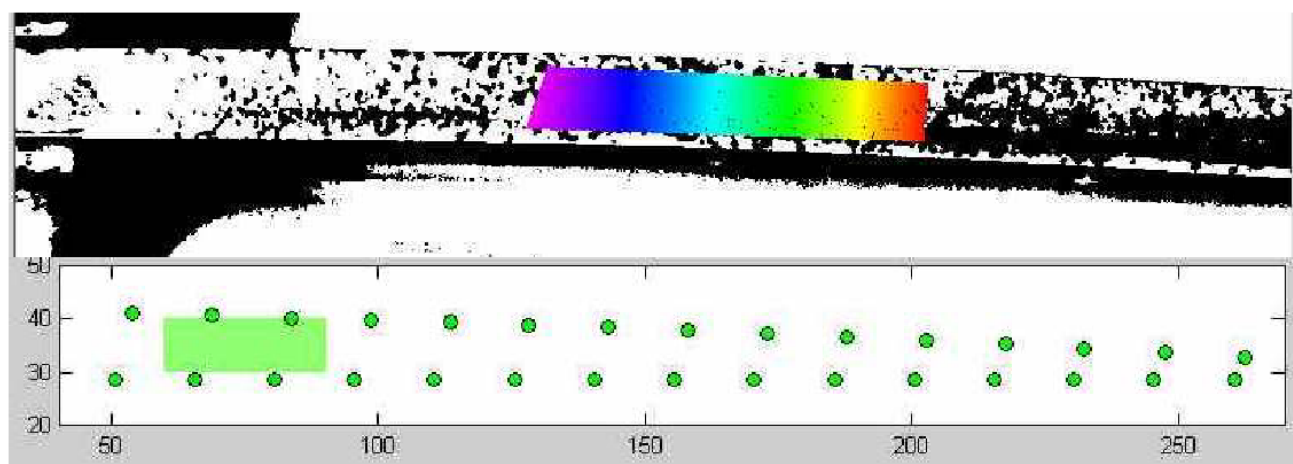


Fig. 17. Rezultat 2D-DIC opticist.org și Matlab

În zona de interes sageata este comparabilă cu măsurătorile și cu rezultatele obținute prin FEM.