

# MĂSURAREA 3D A REPERELOR COMPLEXE DIN INDUSTRIA AUTO UTILIZÂND SCANARE LASER

Dr. ing. Adrian-Cătălin VOICU, Prof. dr. ing. Gheorghe I. GHEORGHE

Institutul Național de Cercetare și Dezvoltare pentru Mecatronică  
și Tehnica Măsurării – București

**REZUMAT.** Scanarea tridimensională este disponibilă de mai mult de 15 ani; cu toate acestea, există câțiva care au auzit de ea și puțini oameni știu aplicațiile acestei tehnologii. Scanarea 3D este, de asemenea, cunoscută sub numele de digitizare 3D, numele provenind de la faptul că acesta este un proces care utilizează un palpator de digitizare contact sau non-contact pentru a capta forma obiectelor și pentru a le recrea într-un spațiu de lucru virtual printr-o rețea foarte densă de puncte (xyz) ca o reprezentare grafică 3D. Cel mai mulți producători de automobile folosesc în prezent metrologie 3D bazată pe sisteme optice sau laser pentru a valida calitatea produselor. Piesele sunt măsurate inițial prin scanarea 3D, apoi acestea sunt comparate cu modelul conceput (fișier CAD) folosind un software specializat. Prin această comparație producătorul poate interveni foarte rapid în procesul de fabricație pentru a elimina cauza defectelor, această tehnică fiind numită Inginerie inversă (Reverse Engineering - RE). Precizia generală poate varia de la microni la milimetru și dimensiunea achiziționării de la câteva puncte la mai multe mii de puncte pe secundă. Într-o lume perfectă sau într-un mediu de producție integrat, sisteme de măsurare 3D ar trebui să fie capabile să măsoare toți parametrii necesari într-o singură etapă, fără erori, și să ofere rezultatele în același mod la rețelele de fabricație dotate cu calculatoare, în formate utile pentru mașini de control și gestionare a proceselor.

**Cuvinte cheie:** scanare tridimensională, modelare, control dimensional.

**ABSTRACT.** Three-dimensional scanning is available for more than 15 years, however there are few that have heard of it and as few people know the applications of this technology. 3D scanning is also known as 3D digitizing, the name coming from the fact that this is a process that uses a contact or non-contact digitizing probe to capture the objects form and recreate them in a virtual workspace through a very dense network of points (xyz) as a 3D graph representation. Most automotive manufacturers currently use 3D metrology based on optical or laser systems to validate products quality. The pieces are initially measured by 3D scanning then they are compared with the designed model (CAD file) using a specialized software. By this comparison producer can interfere very quickly in the manufacturing process to remove the cause of defects, this technique being called Reverse Engineering (RE). The overall accuracy may vary from micron to millimeter and the acquisition's size from a few points to several thousand points per second. In a perfect world or in an integrated production environment, 3D measuring systems should be able to measure all the necessary parameters in a single step without errors, and to render the results in the same way to the manufacturing networks equipped with computers, in formats useful for machines control and processes management.

**Keywords:** 3D scanning, modelling, dimensional control.

## 1. INTRODUCERE

Deși cunoscută de mai mult de 15 de ani, măsurare tridimensională (3D) este o tehnică relativ nouă, în continuă dezvoltare, cu aparate și echipamente (scanare 3D) încă în faza de testare, dar care ar putea revoluționa și facilita tehnicile de măsurare clasice. Scanarea 3D este procesul de copiere a informațiilor digitale ale geometriei unui obiect fizic (solid), de aceea este cunoscută ca digitalizare. „Digitizarea” sau „digitizarea 3D” este un procedeu care utilizează o palpator de digitizare cu contact sau non-contact pentru a capta forma obiectelor și a le recrea într-un spațiu de lucru virtual printr-o rețea foarte densă de puncte (xyz), sub formă de reprezentare grafică 3D. Datele sunt colectate sub formă de puncte și fișierul

rezultat este numit „nor de puncte” (fig. 1,a). Tipul de informații de „nor de puncte” sunt, de obicei, post-procesate într-o rețea de poligoane mici (mod simplu), care sunt numite rețea poligonală 3D (fig. 1,b). Acest tip de informații pot fi salvate în diferite formate CAD (fig. 1,c), cele mai frecvente fiind formatul STL (Surface Tessellation Language). O definiție simplificată specifică faptul că *achiziția* se face printr-o interfață „material” (scanner 3D) cu ajutorul palpatoarelor și senzorilor, precum și modelarea prin intermediul unei interfețe „software” (software de scanare 3D) folosind algoritmi. Datele 3D colectate sunt utile pentru o gamă largă de aplicații. Multe tehnologii diferite pot fi folosite pentru a construi aceste dispozitive de scanare 3D, fiecare tehnologie vine cu propriile sale limitări, avantaje și costuri.

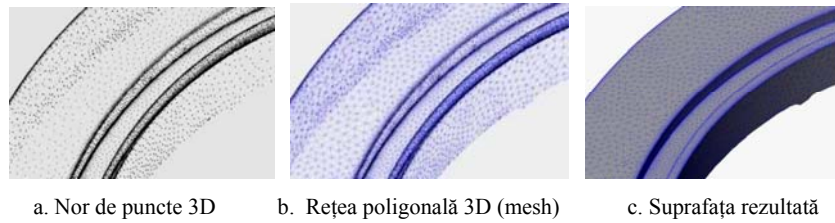


Fig. 1. Faze ale digitizării sau digitizare 3D.

## 2. TEHNOLOGII DE SCANARE 3D

Până la apariția noilor tehnologii, digitizarea a fost limitată de viteza capului de scanare și alegerea corectă a sistemului de palpate, tipul piesei scanate și bugetul pentru achiziționarea sau dezvoltarea sistemului de scanare. Chiar dacă sunt destinate pentru copierea sau controlul geometric, sau mai degrabă modelării geometrice virtuale sau realizării de produse, o clasificare bine stabilită le împarte în două tipuri: scanare 3D contact și non-contact (fig. 2). Scanarea 3D non-contact poate fi împărțită în continuare în două categorii principale, scanare activă și scanare pasivă. Contact se referă la contactul mecanic al suprafețelor în timp ce tehnologiile non-contact (fără contact mecanic) utilizează surse optice, laser sau o combinație a ambelor de atât pentru reproducere fidelă a suprafeței scanate. Înainte de a obține un rezultat optim, cu o anumită tehnologie, este vital să se asigure că „achiziția senzorială” corespunde aplicației. Criterii de acuratețe, rezoluție, viteza de achiziție, viteza de măsurare, grade de libertate sau configurarea potrivită și repetabilitatea procesului trebuie să fie luate în considerare.

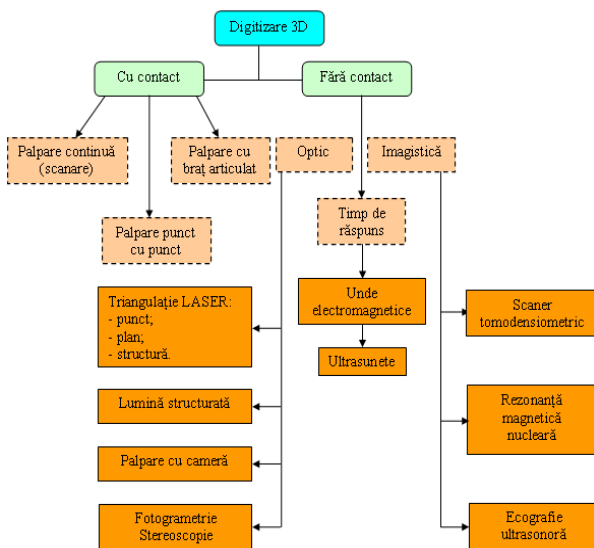


Fig. 2. Tehnologia de digitizare 3D.

### 2.1. Tehnologia de scanare 3D contact

În măsurarea 3D, palpatorul atinge proba supusă măsurării, în timp ce obiectul este în contact sau în

repaus pe o placă de precizie cu suprafața plană, șlefuită și lustruită la un maxim specific al rugozității suprafeței. În cazul în care obiectul care trebuie scanat nu este plat sau nu poate fi așezat stabil pe o suprafață plană, acesta este sprijinit și ținut ferm în loc de un dispozitiv. Mecanismul scannerului poate avea trei forme diferite:

- un sistem de transport cu brațe rigide menținute strâns în relație perpendiculară și fiecare axă aluneca de-a lungul unei piste;
- un braț articulată cu componente rigide și senzori unghiulari de mare precizie;
- o combinație a ambelor metode;

O MMC (mașină de măsurare în coordonate) este cel mai bun exemplu al unui scanner 3D cu contact. Aceasta este utilizată în principal în fabricare și pot fi foarte precisă, dar are anumite dezavantaje.

### 2.2. Tehnologia de scanare 3D non-contact

În timp ce tehnicile de scanare cu contact 3D folosesc palpatori pentru a efectua scanarea, tehnologiile fără contact folosesc senzori optici, surse de lumină laser, sau o combinație a celor două (acestea sunt cele mai performante tehnologii de vedere economic și tehnologic viabile de scanare non-contact) pentru reproducerea fidelă a suprafeței scanate. Alte metode de scanare non-contact sunt fotogrammetria, razele X, scanarea cu tomografie computerizată și scanarea cu rezonanță magnetică. Senzorii cu laser non-contact și cei vizuali s-au dezvoltat ca și alternativă pentru înlocuirea celor cu contact, unde contactul fizic nu este posibil în cazul suprafețelor fine sau finisate delicat, superfinisate sau cu asperități mari și cele cu muchii ascuțite.

**Tehnologia de scanare 3D laser.** În ingineria modernă, termenul de „scanare laser” este folosit cu două sensuri legate, dar cu înțelesuri separate. Primul sens, mai general, este deformarea controlată a fascicule laser, vizibil sau invizibil. Fascicule laser scanate sunt utilizate în mașinile pentru stereolitografie, în rapid prototyping, în mașinile de prelucrare a materiilor prime, în mașinile de gravat cu laser, în sistemele oftalmologice cu laser, în microscopie confocală, la imprimantele laser, în spectacole cu laser, în Laser TV, în sistemele LIDAR, și scanere de coduri de bare. Al doilea sens, mai specific, este

## MĂSURAREA 3D A REPERELOR COMPLEXE DIN INDUSTRIA AUTO

de direcție controlată a fasciculei laser, urmată de o măsurare a distanței fiecărui punct. Această metodă, numită adesea scanarea obiectului 3D sau scanarea cu laser 3D folosește un fascicul laser punctual sau plan, și este utilizat în general pentru a capta rapid forma obiectelor, clădirilor și peisajelor. Principalele avantaje ale fasciculului laser este faptul că acesta poate penetra chiar și cele mai mici fisuri ale suprafeței scanat precum și viteza cu care un prototip

poate fi reprodus (tabelul 1). Piese sunt inițial măsurate prin scanare 3D cu laser apoi acestea sunt comparate cu modelul proiectat (fișier CAD) folosind un software specializat. Prin această comparație producătorul poate interveni rapid în procesul de fabricație pentru a înlătura cauza eventualelor defecte de fabricație. Materialele care pot fi scanate cu laser includ: piatra, ceramică, sticla, metalul, lemnul, plasticul, cauciucul și lutul.

Tabelul 1.1. Analiza soluțiilor tehnice a diferiților palpatori

Tipul tehnologiei	Avantaje	Inconveniente
Palpator mecanic punct cu punct	Foarte precis (1/100mm) Foarte economic Independent de culoare și textură Dimensiuni mici	Foarte lent (1 punct la 4 secunde) Presiune de contact Volum de lucru limitat Nu este adaptat pentru reconstrucția de forme
Palpator mecanic analogic	Precis Economic Independent de culoare și textură Dimensiuni mici Flexibil și optim pentru reconstrucția formelor pieselor mecanice	Relativ lent (în medie 100 puncte/sec) Presiune de contact Volum de contact limitat
Laser punct	Fără contact Relativ rapide (în medie 200...300 puncte/sec) Distanța de lucru variabilă	Depinde de aspectul suprafeței Relativ scump Nu este adaptat pentru forme foarte accidentate Precizie variabilă Utilizare relativ dificilă
Laser plan	Fără contact Foarte rapide (> 10000 puncte/sec) Distanța de lucru variabilă	Depinde de aspectul suprafeței Scumpe Precizie variabilă (1/10 mm) Utilizare relativ dificilă Zgomot și paraziți
Optic	Fără contact Foarte rapide (420000 puncte/sec) Distanța de lucru variabilă Măsurarea obiectelor mobile Dimensiuni mari	Depinde de aspectul suprafeței Scumpe Precizie foarte variabilă Tratare ulterioară complexă Utilizare complexă

Principalele metode pentru crearea a modelelor 3D sunt:

– *modelarea poligonală* – majoritatea modelelor folosite în jocuri și filme sunt modele poligonale.

– *modelarea parametrică* – sunt utilizați parametri pentru precizarea proprietăților obiectului;

– *modelare solidă 3D* – în această metodă sunt folosite corpuri geometrice elementare, cum ar fi cuburi, cilindri, conuri și sfere, pentru a construi modele mai complexe;

– *modelarea nurbs* (Non-uniform rațional B-spline), spre deosebire de modelarea poligonală, oferă posibilitatea de a crea suprafețe curbe netede, dar procesul de randare este mai lent;

– *modelare bazată pe curbe Spline sau pe suprafețe tip Patch* – este similară cu modelarea NURBS, cu excepția faptului că suprafețele sunt create din linii curbe, care constituie marginile lor.

Rezoluția unui mesh este de fapt densitatea numărului de puncte sau distanță între puncte. Distanța între puncte este de regulă de ordinul 0,01 mm - 0,1 mm. Această valoare nu trebuie confundată cu

precizia de măsură a sistemului. Mulți dintre producătorii de echipamente de scanare 3D se ascund sub umbrelă acestei informații când sunt întrebați de acuratețea de măsurare.

### 3. PRINCIPALELE TIPURI DE SCANERE LASER 3D

#### 3.1. Scanerul laser 3D active

**Scanerul laser 3D „timp-de-zbor”** (fig. 2) este un scanner activ care folosește lumina laser pentru a sonda subiect. În centrul acestui tip de scanner este un telemetru laser care măsoară timpul de zbor al razei laser. Telemetrul laser măsoară distanța față de o suprafață prin măsurarea timpului dus-întors al unui puls de lumină. Un laser este folosit pentru a emite un puls de lumină și cantitatea de timp în care lumina reflectată este văzută de către un detector este măsurată. Deoarece viteza luminii „c” este cunoscută, timpul dus-întors determină distanța de

deplasare a luminii, care este de două ori distanța dintre scanner și suprafață. Dacă „ $t$ ” e timpul de zbor tur-retur al pulsului laser, atunci distanța este egală cu  $c \times t/2$ . Precizia unui scanner 3D laser „timp-de-zbor” depinde de modul în care noi putem măsura timp „ $t$ ”: 3,3 picosecunde (aprox.) este timpul necesar luminii pentru a călători 1 milimetru. Scannerul laser detectează doar distanța unui punct în direcția în care este îndreptat. Scanerul laser 3D „timp-de-zbor” uzuale pot măsura distanța a 10.000 ~ 100.000 de



Fig. 2. Principiul scannerului laser 3D „timp-de-zbor”.

**Scanerul laser 3D cu triangulație** (fig. 3) sunt, de asemenea, scanere active care utilizează lumina laser pentru a sonda mediul. Scannerul laser cu triangulație folosește o rază laser care scanează subiectului și o cameră foto pentru a căuta locația punctului laser. În funcție de cât de departe laser lovește o suprafață, punctul laser apare în diferite locuri din câmpul vizual al camerei. Această tehnică se numește triangulație, deoarece punctul laser, aparatul de fotografiat și cu laser emițător formează un triunghi. Lungimea unei laturi a triunghiului, distanța dintre cameră și emițătorul laser este cunoscută. Unghiul de lângă emițătorul laser este de asemenea cunoscut iar unghiul camerei foto poate fi determinat privind locația punctului de laser în câmpul vizual al camerei. Aceste trei informații determină forma și dimensiunea triunghiului și oferă locația punctului laser al triunghiului. Aceste tipuri de scanere au o rază limitată de doar câțiva metri, dar precizia lor este relativ mare față de scanerul „timp-de-zbor”. Acuratețea scanerelor laser 3D cu triangulație este de ordinul a câțiva zeci de micrometri.

**Scannerul laser 3D cu conoscopie holografică.** Într-un sistem conoscopic, un fascicul laser este proiectat pe suprafață și apoi reflexia sa imediată de-a lungul aceleiași traiectorii este trecută printr-un cristal conoscopic și proiectată pe un CCD. Rezultatul este o imagine de difracție, care pot fi analizate pentru a determina prin frecvența distanța până la suprafața măsurată. Principalul avantaj al scanerelor cu holografie conoscopică este faptul că doar o singură cale de raze este necesară pentru măsurarea, oferind astfel o oportunitate de a măsura, de exemplu, adâncimea din o gaură filetată fin.

puncte în fiecare secundă. Principalul avantaj al scannerului laser „timp-de-zbor” este că acestea sunt capabile să funcționeze la distanțe foarte lungi fiind potrivite pentru scanarea structurilor mari, cum ar fi clădiri sau caracteristici geografice. Dezavantajul acestui tip de scanner laser este precizia lor, datorită vitezei mari a luminii, cronometrarea timpului tur-retur este dificilă și precizia de măsurare a distanței este relativ scăzută, de ordinul a câțiva milimetri.

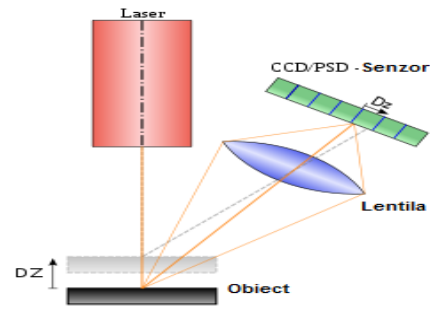


Fig. 3. Principiul scannerului laser 3D cu triangulație.

**Scanerul 3D cu lumină structurată** proiectează un model de lumină pe subiect și analizează deformarea modelului asupra subiectului. Modelul este proiectat pe subiect folosind fie un proiector LCD sau o altă sursă de lumină stabilă. O cameră foto, decalată față de proiectorul model, analizează forma modelului și calculează distanța din câmpul vizual al fiecărui punct. Avantajul scanerelor 3D cu lumina structurată este viteza și precizia. În loc de scanare unui punct la un moment dat, scanerul cu lumina structurată poate scana mai multe puncte sau întregul domeniu vizual o dată. Scanarea unui întreg câmp vizual într-o fracțiune de secundă generează profile care sunt exponențial mai precise decât triangulația cu laser.

**Scanerul 3D cu lumină modulată** proiectează o lumină în continuă schimbare pe subiect. De obicei, sursa de lumină pur și simplu fluctuează în amplitudine după un model sinusoidal. O cameră detectează lumina reflectată și dimensiunea modelului deplasat și astfel determină distanța parcursă de lumină. Lumina modulată permite de asemenea scannerului să ignore lumina provenită din alte surse decât sursa laser, astfel încât nu există nici o interferență.

### 3.2. Scanerul laser 3D pasiv

Scannerul de acest tip nu emite nici un fel din radiație ele înșiși, ci se bazează pe detectarea radiațiilor reflectate ale mediului ambiant. Cele mai multe scanere de acest fel detectează lumină vizibilă, deoarece este o radiație ambientală ușor de detectat însă pot fi utilizate și alte tipuri de radiații, cum ar fi infraroșu. Metodele pasive pot fi foarte ieftine, de-

oarece, în cele mai multe cazuri, nu au nevoie de hardware special, doar de aparate foto digitale simple.

#### 4. APLICAȚIILE INDUSTRIALE

În prezent, 5 mari familii de aplicații se disting în procedeele de scanare-digitizare:

- reverse-engineering, destinată micșorării timpilor de concepție asupra sistemelor CAD, prelucrarea norului de puncte obținut trebuie integrată într-o fază de reconstrucție a suprafețelor prin intermediul unor softuri speciale;

- metrologie-control-calitate, pentru măsurarea precisă a pieselor omogene cu forme complexe cu dimensiuni foarte variabile: controlul pe linia de fabricație, în scopul selectării sau stăpânirii statistice a unui proces, pentru corelarea anumitor parametri ai lanțului de fabricație (fig. 4);

- biomedical, pentru adaptarea protezelor înaintea intervențiilor sau în cadrul tratamentelor estetice, dar totodată și pentru caracterizarea volumică a organelor bazată pe ecografie, scanare etc;

- digitizare, înainte sau după prototiparea rapidă a sistemelor de copiere prin prelucrare pe CNC-uri;

- cinematografie și animație video (imagini virtuale).

Importanța pe care o are scanarea 3D și precizia acesteia este dictată de aplicația urmărită, astfel aplicațiile în care de regulă nu este necesară o toleranță foarte mare ( $\pm 0.3\text{mm}$ ), se pot folosi o gamă largă de tehnici de scanare 3D (cu contact sau fără contact) pentru a obține rezultatele urmărite. Însă în industria auto, putem utiliza doar unele tipuri de scanare 3D, deoarece este necesar un prag destul de ridicat al calității datelor, toleranțele acceptate în majoritatea cazurilor fiind cuprinse între  $\pm 0,001\text{ mm} \dots \pm 0,01\text{ mm}$ . Tehnicile de scanare 3D și cele de prototipare rapidă joacă un rol important în tehnicile R.E. în industria auto, chiar dacă o procedură de R.E. nu presupune obligatoriu realizarea fizică a prototipului.

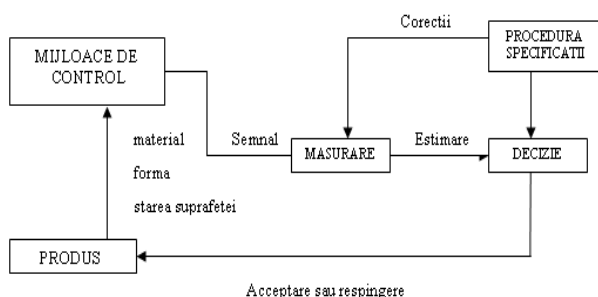


Fig. 4. Metrologie-control-calitate: interacțiuni.

Aplicațiile concrete ale lucrării științifice prezente se vor face prin concepția și realizarea fizică a

unui echipament mecatronic adaptronic inteligent la familia de repere complexe din industria auto (arbore cotit, volant, biele etc.).

#### 5. IMPACTUL TEHNOLOGIEI SCANĂRII 3D ASUPRA DEZVOLTĂRII PRODUSULUI

Companiile adoptă noi tehnici și încearcă noi metode de a-și eficientiza producția și costurile pentru a atinge cerințele producției curente globale. Printre recente descoperiri tehnologice, există un real interes în scanarea laser, care este și rapidă și disponibilă. Adesea, timpul necesar până la vinderea produselor poate decide evoluția noului produs. De aceea, companiile încearcă să lucreze cu clienții lor mai mult în procesul de concepție înțelegând mult mai bine necesitățile clientului înainte de etapa de producție. Procesul de scanare și posteditare poate avea loc în doar 4-5 ore. Acest tip de economisire a timpului presupune că companiile au abilitatea de a răspunde rapid schimbărilor pe piață. Un alt avantaj pentru producători constă în faptul că în multe cazuri codul G poate fi creat pentru echipamentele CNC direct din date scanate sau dintr-un fișier STL fără a include etapa producerii unui model cu suprafețe. Aceasta înseamnă că un prototip poate fi făcut și aprobat, scanat, urmat apoi de realizarea unei matrițe care poate fi făcută ușor și rapid, toate acestea într-o singură zi. Datele scanate pot fi translatate oricărui format de fișier CAD și accesibile unui număr mare de echipamente. După ce un produs a fost realizat, el poate fi scanat și datele rezultate comparate cu modelele geometrice CAD și deviațiile față de modelul geometric inițial pot fi determinate precis. Un alt avantaj care nu este atât de evident, este că odată ce obiectul se află în calculator ideile complexe pot fi aplicate ușor și precis. Astfel, procesele de fabricație se pot desfășoară în mai multe filiale ale aceleiași companii din diferite locații de pe glob. O dată ce un prototip a fost scanat, ingineria, analiza, controlul calității și alte funcții care de obicei aveau loc consecutiv pot avea loc în mod concurrent înainte de a trimite respectivul produs spre fabricare.

#### 6. CONCLUZII

Într-o lume perfectă, sau într-un mediu de producție integrat, sistemele metrologice 3D ar fi capabile să măsoare toți parametri necesari într-o singură etapă, fără erori, și să redea rezultatele în același fel către rețelele de fabricare dotate cu calculatoare, în formate folosite pentru controlul mașinilor și managementul proceselor. Scanarea 3D cu laser oferă o mulțime de avantaje, precum: rapid și ușor de

utilizat, compararea rezultatelor cu cele inițiale, precis și non-distructivă, foarte utilă pentru suprafețe care nu pot fi măsurate prin metodele clasice (cu contact) și adaptiva (poate fi utilizată în combinație cu celelalte metode de scanare).

### BIBLIOGRAFIE

- [1] Gheorghe I. Gh., Istrițeanu S., Despa V., Constantinescu Al., Voicu A., *Mecatronică, Integronică și Adaptronică*, Editura Cefin, București, 2012.
- [2] Bradley D., Seward D., Dawson D., Bruge S., *Mechatronics and the design of intelligent machines and systems*, CRC Press Taylor & Francis, 2000.
- [3] Cosma, C., *Studies regarding the optimization of reverse engineering techniques to realization of injected plastic products*, PhD thesis, Editura Politehnică, București, 2008.
- [4] Geoff W., *CNC Robotics – Build your own workshop bot*, McGraw-Hill Companies, 2003.
- [5] Curless B., *From Range Scans to 3D Models*, ACM SIGGRAPH Computer Graphics 33 (4): 38–41, Noiembrie 2000.
- [6] Song Z., Peisen H., *High-resolution, real-time 3-D shape measurement*, Optical Engineering 45(12), 13 Decembrie 2006.

---

### Despre autori

Drd. ing. **Voicu Adrian CĂTĂLIN**

Institutul Național de Cercetare și Dezvoltare pentru Mecatronică și Tehnica Măsurării – București

Este asistent cercetător la INCDMTM, Laboratorul de Tehnica Măsurării Inteligente. A absolvit în 2009 cursurile Universității din Târgoviște, Facultatea de Ingineria Materialelor, Mecatronică și Robotică, specializarea Mecatronică. În anul 20011 a absolvit cursurile de master în Echipamente și instalații industriale la Universitatea din Târgoviște, Facultatea de Ingineria Materialelor, Mecatronică și Robotică. În prezent este doctorand al Școlii Doctorale din Târgoviște, specializarea Inginerie mecanică. Principalele domenii de cercetare științifică în care are experiență, acumulată în cursul studiilor și al carierei de până în prezent, sunt: mecatronică; proiectare asistată de calculator (CAD); măsurări inteligente; ingineria materialelor. În cadrul INCDMTM desfășoară activități de cercetare și colaborare cu Dacia Renault România, Renault Tehnologie Roumaine, Festo Romania etc.

Prof. dr. ing. EurIng. **Gheorghe I. GHEORGHE**

Institutul Național de Cercetare și Dezvoltare pentru Mecatronică și Tehnica Măsurării – București

Este director general al INCDMTM. A absolvit în 1970 cursurile Institutului Politehnic din București – Facultatea Tehnologia Construcțiilor de Mașini (T.C.M.), specializarea Mecanică fină. În anul 1997 a obținut titlul de doctor inginer în științe tehnice. Pe parcursul a peste 41 de ani de activitate ca cercetător în cadrul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Mecatronică și Tehnica Măsurării și ca profesor universitar în Universitatea „Politehnică” din București, iar din 2001 ca profesor universitar în Universitatea „Valahia” din Târgoviște și din 2008 în Universitatea „Titu Maiorescu”, activitatea tehnico-științifică s-a evidențiat în următoarele direcții: realizare de proiecte, modele experimentale, prototipuri și unicate pentru aparatura inteligentă de măsurare și control dimensional și echipamente mecatronice de măsurare, reglare și control; realizare de tehnologii de mecanică fină și mecatronică; realizare de omologări / certificări de produse; realizare de studii în domeniu; organizare de simpozioane / conferințe în domeniu; bănci de date – Banca tehnică de Control Dimensional; baze de date pentru produse / tehnologii / servicii de mecanică fină și mecatronică; 21 de brevete; cursuri universitare de specialitate (12 cursuri); ghiduri pentru laboratoare (30 ghiduri). Este președinte executiv și membru al mai multor asociații științifice și membru fondator al SROMECA (Societatea Română de Mecatronică).