

PROIECTAREA ASISTATĂ BAZATĂ PE CAZURI A DISPOZITIVELOR DE PRINDERE

Prof. dr. ing. Tudor PĂUNESCU, Conf. dr. ing. Rodica PĂUNESCU

Universitatea „Transilvania” din Braşov

REZUMAT. Deşi au fost propuse şi implementate numeroase metode şi tehnici pentru proiectare asistată a dispozitivelor de prindere (CAFD), domeniul continuă să rămână o frână majoră în integrarea CAD şi CAM, aplicaţiile CAFD comerciale fiind foarte limitate. Lucrarea prezintă o analiză a sistemelor recente de proiectare asistată bazată pe cazuri a dispozitivelor, care s-au dovedit a fi eficiente comparativ cu aplicarea altor tehnici de inteligenţă artificială.

Cuvinte cheie: proiectare asistată, proiectarea dispozitivelor de prindere, proiectare bazată pe cazuri.

ABSTRACT. Although numerous computer-aided fixture design (CAFD) methods and techniques have been proposed and implemented, fixture design still continues to be a major bottleneck in the integration of CAD and CAM, commercial CAFD applications are very limited. The paper presents an analysis of recent case-based reasoning fixture design developments, which have been proven to be effective compared with other artificial intelligence techniques.

Keywords: computer-aided design, fixture design, case-based reasoning.

1. INTRODUCERE

Importanţa dispozitivelor de prindere (DP) a pieselor pe maşini unelte (MU) este relevată de următoarele date statistice: au o pondere 10%–20% din costul unui sistem de fabricaţie (proiectare şi execuţie) şi aproximativ 40% din piesele rebutate au cauze legate de DP [1].

Sistemele CAFD semiautomate şi automate sunt de neconceput fără aportul tehnicilor inteligenţei artificiale (IA): raţionamentele bazate pe reguli (RBR), pe cazuri (CBR), reţelele neuronale (NN), algoritmi genetici (GA). O analiză comparativă recentă a tehnicilor IA, cu aplicare la dispozitive, se găseşte în lucrarea [2]: CBR are numeroase avantaje comparativ cu RBR; NN şi GA sunt tehnici viabile pentru anumite etape ale proiectării DP; învăţarea automată (ca ramură a inteligenţei artificiale: machine learning) s-a dovedit a fi ineficientă.

Marea majoritate a specialiştilor în domeniu consideră că un sistem CAFD trebuie conceput având la bază schema generală a unui design predictiv, ca subsistem integrat proiectării tehnologice asistate de calculator (CAPP) [3-12] (fig. 1).

Obiectivul primei etape a proiectării dispozitivelor (PD) este **proiectarea setup-urilor**: succesiunea operaţiilor şi fazelor tehnologice; MU ce vor fi utilizate; suprafeţele prelucrate; numărul trecerilor; adaosurile de prelucrare etc., dar şi cum va fi poziţionată şi orientată piesa în DP.

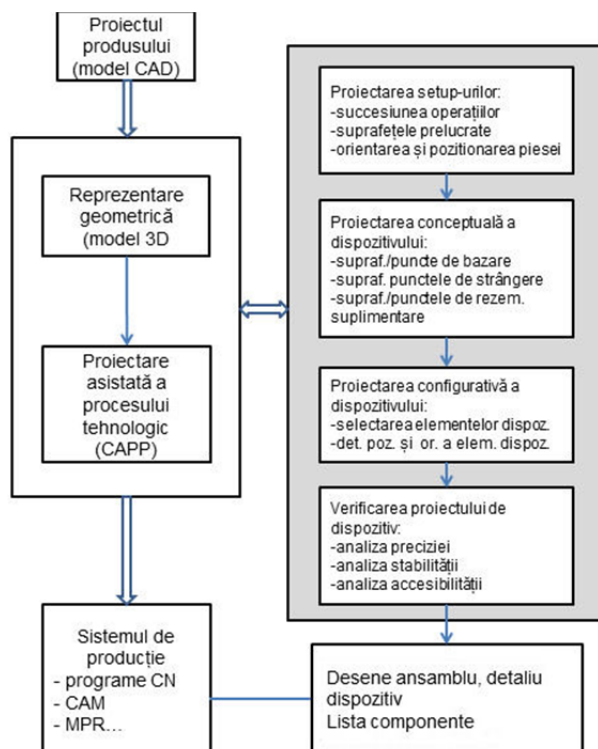


Fig. 1. Structura unui sistem CAFD în relație cu CAPP.

În etapa de **design conceptual** sunt stabilite suprafețele/punctele de contact ale piesei cu reazemele, cu elementele de strângere și de rezemare suplimentară.

Proiectarea configurativă a DP are ca obiect alegerea reazemelor, elementelor de fixare și a celor

auxiliare și poziționarea și orientarea lor față de celelalte componente.

Ultima etapă este dedicată **verificărilor**: precizia realizată de DP; stabilitatea; accesibilitatea și neinterferența sculelor cu elementele dispozitivului. Aceasta este urmată de întocmirea documentației.

Deoarece marea majoritate (aproximativ 70% [12]) a DP pentru o nouă piesă au fost anterior proiectate, o abordare prin intermediul CBR se dovedește foarte eficientă. Sistemele expert interactive pentru PD, bazate pe reguli (RBR), structurate pe logica IF-THEN sau principii s-au dovedit ineficiente deoarece este foarte greu a se concepe un set de reguli complete care să genereze proiecte de calitate pentru dispozitive care prind piese cu forme și dimensiuni variate, în plus întreținerea și mai ales modificarea unor astfel de sisteme este foarte dificilă.

În general, sistemele CBR și în particular cele dedicate PD au următoarele avantaje: aplică o strategie curent folosită pentru rezolvarea unei probleme, care începe cu cautarea soluțiilor existente care au rezolvat aceeași problemă sau una asemănătoare, apoi sunt selectate cele mai apropiate scopului și în final sunt modificate; sunt simple și intuitive deoarece cazurile sunt independente unele de altele, în plus acestea se înțeleg cu ușurință; baza de cazuri nu trebuie să fie completă pentru a putea fi folosită; utilizează date existente; întreținerea CBR se face simplu prin adăugarea/ștergerea cazurilor; sistemele CBR se îmbunătățesc în permanență și se adaptează la schimbări, se pot autoîntreține; pot gestiona un volum mare de date.

În general, rezolvarea unei probleme de proiectare bazată pe CBR se desfășoară în două etape. În prima etapă, din baza de cunoștințe se extrag soluții care rezolvă o problemă asemănătoare. Aceasta se desfășoară în subetapele: **indexarea** în care sunt identificate atributele relevante pentru proiect; **regăsirea cazurilor** care au total sau parțial aceleași atribute cu proiectul care trebuie realizat; **ierarhizarea cazurilor** pe baza gradului de similitudine cu tema de proiect.

În etapa de adaptare a soluție se efectuează: **extragerea soluție** care satisface cel mai bine specificațiile de proiectare; **evaluarea** în vederea eventualelor modificări; **efectuarea de modificări** urmată de **re-evaluarea** noii soluții.

2. ESTIMAREA SIMILITUDINII FORMELOR OBIECTELOR 3D

Deoarece modele CAD din bazele de date pot avea o proveniență eterogenă, înainte de aplicarea algoritmilor de evaluare a similitudinii este necesară îndeplinirea unor condiții de invarianță pentru anumite clase de transformări: scalare, translație, rotație și oglindire.

În etapa de regăsire a cazurilor se utilizează algoritmi care determină similitudinile între piesa pentru care trebuie proiectat DP și alte piese aflate în baza de date. Principalele metode de evaluare a similitudinii obiectelor rigide virtuale se încadrează în patru mari categorii [13]: atribute globale și de formă (robuste, precizie scăzută-medie); grafuri (caracteristici diferite funcție de natura grafului); rețele neuronale (eficiență mare după antrenare, cost ridicat) și mixte (lente, calitate înaltă).

Determinarea similitudinii pieselor prin compararea atributelor globale nu sesizează micile diferențe de formă, în consecință se aplică doar ca filtre de primă etapă, după care sunt folosite metode mai puternice pentru diferențiere pe baza detaliilor. Din această categorie fac parte metodele care utilizează ca instrument de comparare funcțiile de repartiție asociate unor proprietăți globale ale obiectelor 3D [14,15]. Caracterizarea formei globale a obiectului 3D este făcută prin funcțiile: măsurarea unghiurilor între trei puncte alese aleator de pe suprafață; măsurarea distanței dintre un punct fix (centrul de masă) și unul oarecare; măsurarea distanței între două puncte oarecare de pe suprafață; rădăcina pătrată a ariei triunghiului format de trei puncte alese aleator de pe suprafața obiectului; rădăcina cubică a volumului format de patru puncte alese aleator de pe suprafața obiectului. Pentru calcularea funcțiilor densitate de probabilitate sau repartiție se aleg aleator N puncte pe suprafața obiectului apoi se ridică histograma care aproximează funcția densitate de probabilitate. Similitudinea dintre două obiecte este calculată pe baza normei Minkovski, distanța Kolmogorov-Smirnov, EMD ș.a. O soluție eficientă propusă de către cercetătorii de la Universitatea din Munchen [18] se bazează pe compararea histogramelor circulare, sectoriale și combinate ale obiectelor.

Determinarea similitudinii pieselor din modele voxelizate prin vectorii proprii ai atributelor [16-18] nu se bazează pe abordarea tradițională a descrierii unui obiect printr-un singur vector ci printr-o mulțime de astfel de vectori. Mulțimea voxelilor unui obiect se consideră ca o mulțime de puncte cu o anumită distribuție spațială. Modelul valorilor proprii utilizează distribuția setului de voxelii în fiecare celulă de partiționare în scopul determinării elipsoidului minim care o mărginește. Pentru validarea metodei autorii au efectuat un număr impresionant de teste pe aproximativ 10 000 de modele 3D.

Deoarece există numeroase metode de calcul eficiente a similitudinii obiectelor 2D, acestea au fost valorificate și în 3D prin metodele vederilor, contururilor și secțiunilor. Acestea s-au dovedit rapide, precise însă au anumite limitări legate de forma obiectului [19-21].

O sistematizare amănunțită și o analiză comparativă a metodelor de regăsire a obiectelor 3D pe baza

similitudinii formeii este publicată recent de ElNaghy Hanan ș.a. în [19].

3. MODELE ȘI METODE DE PROIECTARE ASISTATĂ BAZATE PE CAZURI A DISPOZITIVELOR DE PRINDERE

Impactul CBR asupra CAFD este mult mai redus [4,10, 23-30] decât în alte domenii, o explicație ar fi gradul ridicat de complexitate a procesului de proiectare a DP.

Până în prezent, cel mai elaborat sistem CAFD-CBR este CAFixD [4, 10]. Nucleul logic al acestuia este format pe baza CBR și pe aplicarea principiilor proiectării axiomatice. CAFix are capacitatea de a genera proiecte complete de DP și de a realiza o descriere comprehensivă a cerințelor funcționale ale dispozitivului, luând în considerare: geometria piesei; toleranțele dimensionale și de poziție; stabilitatea piesei; rigiditatea subsistemului piesă-dispozitiv; costul dispozitivului; uzabilitatea acestuia.

După etapa decompoziției CAFixD caută în baza de cunoștințe soluții pentru subprobleme și apoi le integrează în soluția completă. În acest scop utilizează două baze de date: una care conține soluții conceptuale (biblioteca 1 în fig. 2) și alta cu soluții detaliate ale subsistemelor dispozitivului (biblioteca 2 în fig. 2). CAFixD aplică principiile decompoziției din designul axiomatice Suh Nam-pyo, atât pentru rezolvarea indexă-

rii cazurilor cât și pentru soluții. Spre deosebire de alte sisteme CBR conexiunile între cerințele funcționale, parametrii de proiectare și variabilele procesului sunt concentrate într-un singur graf, cu avantajul că acesta poate evidenția efectul pe care îl au diferitele tipuri de restricții asupra soluției proiectului.

CAFixD asigură asistență a procesului de proiectare aproape în toate etapele, însă are și limitări: poate genera proiecte doar pentru piese cu suprafețe plane și cilindrice; nu verifică interferența sculei cu elementele dispozitivului de prindere; în etapa de optimizare CAFixD lucrează în următoarea succesiune: pentru fiecare cerință funcțională este optimizat parametrul de proiectare corespondent, deci se ating succesiv optimuri locale care nu garantează obținerea optimului global.

Metoda de proiectare asistată a dispozitivelor modulare propusă de U. H. Farhan [23] se limitează doar la piesele semi-cilindrice. CAFD-CBR Farhan este dezvoltat ca sistem integrat pe baza următoarelor componente: sistemul expert *VisiRule* este folosit pentru selecția schemei de bazare și alegerea componentelor dispozitivului de prindere; *SolidWorks* pentru automatizarea procesului de asamblare 3D a dispozitivului prin intermediul funcțiilor API și pentru biblioteca componentelor modulare de dispozitiv; *VisualBasic* pentru crearea meniurilor și *ActiveX* la integrarea cu *SolidWorks*. După afirmația autorului sistemul este în dezvoltare, deocamdată limitându-se la asistarea proiectării dispozitivelor pentru piese semi-cilindrice, strânse lateral.

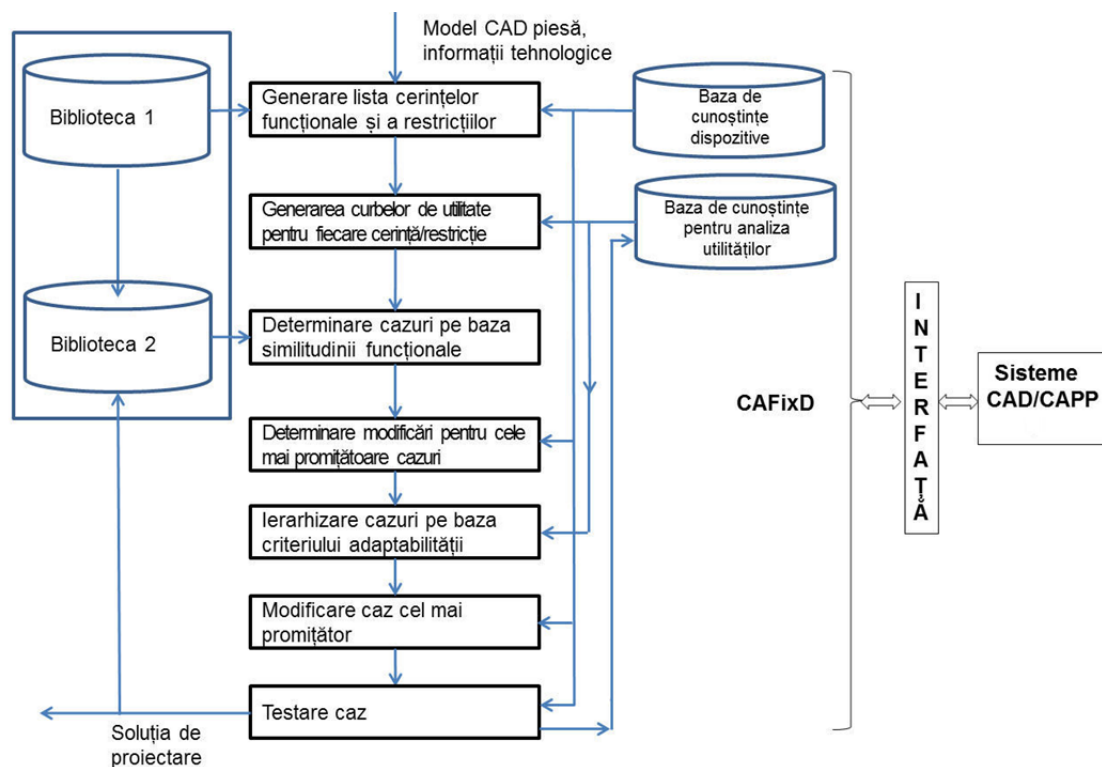


Fig. 2. Structura sistemului CAFixD bazat pe cazuri.

Sistemul de proiectare asistată a dispozitivelor de prindere elaborat de D.Vukelic și B.Tadic de la Universitatea din Novi Sad este orientat spre sinteza constructivă și de detaliu a dispozitivelor de prindere, inclusiv verificarea acestora. Colectivul de cercetători a dezvoltat un sistem CAFD-CBR [25] și unul RBR [24]. În stadiul actual primul procesează doar la piese prismatice și de revoluție prelucrate prin frezare și găurire, nu rezolvă etapa de sinteză conceptuală, schema de bazare și cea de fixare sunt date de intrare. Testat pe 173 de piese procentul de găsimare a unor soluții viabile este de aproximativ 85%.

CAFD-CBR pentru dispozitive de sudură, dezvoltat de S. Price [26] se bazează pe lucrarea [27] unde a fost propus un graf al interacțiunii piesă-elemente de dispozitiv, utilizat în calculul similitudinilor. Sistemul nu acoperă tot procesul de proiectare, dezvoltă sumar etapa de adaptare, rezumându-se la: indexarea și regăsirea dispozitivelor; propunerea unei metode de extragere a celor mai potrivite cazuri de dispozitive din baza de date; proiectarea unei interfețe pentru controlul proceselor CBR. Pentru etapa de indexare autorul a ales ca suport meta-lingajul XML, datorită versatilității sale. Sistemul CBR nu este complet automatizat, există un feedback permanent din partea utilizatorului pe mai multe nivele ierarhice în procesul de selecție a cazurilor propuse.

Sistemul CAFD integrat, realizat de cercetătorii de la Institutul Tehnologic din Harbin, China [28] are ca nucleu logic CBR și un modul RBR utilizat în etapa de sinteză conceptuală a DP. Pentru sinteza schemei de poziționare-orientare sistemul utilizează o metodă hibridă formată dintr-o combinație de RBR și logică fuzzy. Atributele piesei, utile pentru proiectarea schemelor de poziționare-orientare, pot fi extrase automat din modelul 3D al piese (informații complete se găsesc în formatul STEP) sau se introduc manual. În stadiul actual de dezvoltare setul de reguli este insuficient dezvoltat ducând la generarea și a unor soluții conceptuale greșite.

Deoarece într-un sistem CAFD-CBR, identificarea cazurilor care satisfac cerințele de proiectare este etapa cea mai dificilă și de care depinde eficiența sistemului, H. Hashemi [29] a dezvoltat o metoda care, afirmă autorul, este mai rapidă și mai precisă decât altele, cel puțin în cazul pieselor prismatice. Sistemul CBR utilizează succesiv două baze de date: cu cazuri piese și cu cazuri DP.

Metoda de poziționare-orientare a piesei bazată pe CBR elaborată de S.H.Sun și J.H.Cheng de la Universitatea Cgheng Kung, Taiwan [30] este aplicabilă dispozitivelor modulare. Pentru gestionarea informațiilor complexe necesare proiectării dispozitivelor de prindere modulare autorii au optat pentru o organizare ierarhică (MOP-Memory Organization Packages [31])

Fan Liqing și A. Senthil Kumar în lucrarea [32] utilizează XML pentru baza de date a DP, în scopul dezvoltării unui sistem CAFD-CBR bazat pe internet.

Autorii au optat pentru XML deoarece este un format neutru, independent de platformă, flexibil și care permite structurarea datelor pentru aplicații web, fiind astfel posibilă colectarea și schimbarea unor mari cantități de date din diverse locații. Pentru reprezentarea unui caz de DP informațiile au fost împărțite în trei secțiuni: piesa, set-up-ul și dispozitivul. Sistemul CAFD a fost implementat folosindu-se arhitectura client-server, cu *Java* ca limbaj de programare, *Java3D* grafică și XML ca format pentru schimbul de informații. Deoarece sistemul CBR poate fi accesat simultan de mai mulți clienți și baza de date poate avea dimensiuni mari sau chiar foarte mari, procesul de identificare și extragere a cazului este unul intens, motiv pentru care aceste operații sunt efectuate în zona server.

4. CONCLUZII

Sistemele CAFD-CBR au în general o natură hibridă, în anumite etape de proiectare intervin și alte tehnici de IA, de exemplu: seturi de reguli bazate pe structura IF-THEN pentru selecția conceptului de dispozitiv [28,4,10]; rețele neuronale în combinație sau nu cu algoritmi genetici utilizate în etapa de regăsire; RBR și logică fuzzy pentru generarea de concepte [28].

Mediile de proiectare CAFD-CBR existente sunt interactive sau mai rar semiautomate, ele nu funcționează fără interacțiunea cu utilizatorul, mai mult o eficiență sporită se obține printr-o abordare CBR pe mai multe niveluri. Pornind de la o indexare grosieră, la fiecare iterație, după completarea etapelor de indexare și regăsire, sistemul prezintă proiectantului o selecție a cazurilor aflate în baza de date, din care acesta alege unul sau mai multe. Proiectantul analizează ce modificări ar trebui efectuate pentru a satisface specificațiile de proiectare, rafinând astfel soluția [27].

În ultimii ani s-au depus eforturi susținute pentru dezvoltarea unor metodologii, metode și modele CAFD-CBR, dar deocamdată acestea nu satisfac cerințele exploatarei în mediul industrial. În general sunt puternic interactive, se limitează fie la piese având o geometrie relativ simplă (piese prismatice, piese de revoluție), fie la câteva scheme de bazare (321, 411), multe sunt testate pe puține piese simple, de obicei alese ca să demonstreze viabilitatea metodologiei/metodei propuse.

Deși s-au făcut pași importanți în recunoașterea automată a formelor pieselor, etapă esențială pentru automatizarea sistemelor CAFD-CBR, marea majoritate a acestora nu le integrează, la cele mai multe atributele geometrice și tehnologice ale piesei sunt introduse manual de către utilizator.

Foarte promițătoare, CAFD prin abordarea CBR mai necesită numeroase cercetări care să-i mărească gradul de automatizare, să integreze sistemele CAFD în PDM sau PLM, să realizeze integrarea a mai multor tehnici de inteligență artificială.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Wang H., Rong Y. (2010). *Computer aided fixture design: Recent research and trends*. Computer-Aided Design 42, pp. 1085–1094.
- [2] Hashemi H. (2013). *To Improve Machining Fixture Design: A Case Based Reasoning Paradigm*. J. Basic. Appl. Sci. Res. 3(5), pp. 931-937.
- [3] Nee A.Y.C. (2004). *An Advanced Treatise on Fixture Design and Planning*. Word Scientific. ISBN: 978-981-256-059-9.
- [4] Rong Y., Hu. Z. (2005). *Advanced computer-aided fixture design*. Elsevier.
- [5] Kang Y. (2001). *Computer Aided Fixture Design Verification*. Ph.D. Dissertation, Worcester Polytechnic Institute, December 2001.
- [6] Ma W. (1999). *Development of Automated Fixture Planning Systems*. Int. J. Adv. Manuf. Technol. Vol. 15, no.3, pp:171–181.
- [7] Nee A.Y.C. (1987). *Applying AI in Jigs and Fixtures Design*, Robotics&Cim vol 3, no.2, pp.195-200.
- [8] Nee A.Y.C., Senthil Kumar A. (1991). *A Framework for an Object/Rule-Based Automated Fixture Design System*. Vol 40, no.1, pp. 147-151.
- [9] Bai Y., Rong Y. (1998). *Modular fixture element modelling and assembly relationship analysis for automated configuration design*. Engineering Design and Automation. 4 (1998), pp.147-162.
- [10] Boyle I. (2006). *CAFixD - A case-based reasoning method for fixture design*. PhD dissertation, Worcester Polytechnic Institute.
- [11] Hargrove Keith S., Kusiak. A. (1994). *Computer-Aided Fixture Design: a Review*. Int. J. Prod. Res. Vol. 32, no. 4, pp. 733-753.
- [12] Rong Y., Zhu Y. (1999). *Computer-aided fixture design*. Marcel Dekker Inc.
- [13] Quan L. Yang Z. (2001). *A survey of content based similarity measures for 3D models*, The 38th International Conference on Computers&Industrial Engineering, Oct.31-Nov.2, 2008 Beijing, China, pp. 2193-2201.
- [14] Osada R., Funkhouser T. (2002). *Shape distributions*. ACM Transactions on Graphics, 21(4), Princeton University, pp. 807-832.
- [15] Ip C.Y. (2002). *Using Shape Distributions to Compare Solid Models*. ACM Symp. Solid Modeling and Applications. pp 273 – 280.
- [16] Kriegel H.P. (2003). *Effective Similarity Serch for Advanced Applications (DASFFA 2003)*, Kyoto, Japan. IEEE Computer Society. pp. 27-36.
- [17] Kriegel H.P. (2003). *Using Sets of Feature Vectors for Similarity Search on Voxelized CAD Objects*. SIGMON 03, pp. 587-598.
- [18] Ankerst M. (1999). *OPTICS: Ordering Points To Identify the Clustering Structure*. Proc. ACM SIGMOND 99 Int. Conf. On Management of Data, Philadelphia PA.
- [19] Lakeha A. (2011). *New method for 3d shape retrieval*. International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT), Vol 3, No 5, Oct 2011, pp. 89-98.
- [20] Wagan A.I. (2010). *3D shape retrieval based on Multi-scale Integral Orientations*. Eurographics Workshop on 3D Object Retrieval.
- [21] Napoleon T. (2009). *Content-based 3D object retrieval using 2D views*. 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), pp. 1437-1440.
- [22] ElNaghy H. (2013). *Taxonomy for 3D content-based object retrieval methods*. IJRRAS 14 (2), February 2013. pp. 412-446.
- [23] Farhan U. H. (2013). *An integrated computer-aided modular fixture design system for machining semi-circular parts*. MSc thesis, Edith Covan University.
- [24] Vukelic D., Tadic B. (2011). *A rule-based system for fixture design*. Scientific Research and Essays vol 6 (27), pp. 5787-5802.
- [25] Vukelic D., Tadic B. (2009). *Development of an Intelligent System for Fixture Design Using Case-Based Reasoning (CBR) Technique*. Manufacturing and industrial engineering. ISSN 1335-7972. Oct. 2009, pp.8-11.
- [26] Price S. (2009). *A study case based reasoning applied to welding computer aided fixture design*. MSc thesis. Worcester Polytechnic Institute.
- [27] Wang H., Rong Y. (2008). *Case Based Reasoning Method for Computer Aided Welding Fixture Design*. Computer-Aided Design 40, pp. 1121-1132.
- [28] Peng G. Chen G. (2011). *Applying RBR and CBR to develop a VR based integrated system for machining fixture design*. Expert Systems with Applications 38, pp.26-38.
- [29] Hashemi H. (2013). *To Improve Machining Fixture Design: A Case Based Reasoning Paradigm*. J. Basic. Appl. Sci. Res. 3(5), pp. 931-937.
- [30] Sun S.H., Chen J.L. (2007). *Knowledge Representation and Reasoning Methodology based on CBR Algorithm for Modular Fixture Design*, Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers, Vol.28, No.6, pp. 593-604.
- [31] Schank R. (1982). *Dynamic memory: A theory of Learning in Computers and People*. Cambridge University Press, New York.
- [32] Liqing F. (2005). *XML-based Representation in a CBR System for Fixture Design*. Computer-Aided Design & Applications, Vol. 2, No. 1-4, pp 339-348.

Despre autori

Prof. dr. ing. **Tudor PĂUNESCU**
Universitatea „Transilvania” din Braşov

Cadru didactic la Universitatea „Transilvania” din Braşov, Facultatea de Inginerie Tehnologică și Management Industrial, cu preocupări în domeniile: dispozitive pentru maşini unelte, robotică industrială și sisteme flexibile de fabricație.

Conf. dr. ing. **Rodica PĂUNESCU**
Universitatea „Transilvania” din Braşov

Cadru didactic la Universitatea „Transilvania” din Braşov, Facultatea de Inginerie Tehnologică și Management Industrial, cu preocupări în domeniile: CAD, infografică, dispozitive pentru maşini unelte.