

Articole

SCHEME DE MODELARE ȘI DE REPREZENTARE A SOLIDELOR ÎN PROIECTAREA ORIENTATĂ PE CICLUL DE VIAȚĂ AL PRODUSULUI

ing. Constantin Vasiliu
ec. Claudia Ionescu

Institutul de Cercetări în Informatică

Rezumat: În articolul de față se propun câteva scheme de modelare și de reprezentare a solidelor în proiectarea orientată pe ciclul de viață al produselor având la bază mecanismul neutral pentru schimbul de date de produs PDES/STEP.

Cuvinte cheie: CAD/CAM, CAPP, inginerie concurentă, modelare, simulare, PDES/STEP.

1. Considerații preliminare

Avantajele și beneficiile majore privind introducerea sistemelor de proiectare (CAD) și a sistemelor de fabricație (CAM) pot fi considerate ca fiind obținerea de produse de calitate cu mai puține erori, reducerea timpilor de elaborare și creșterea productivității.

Un ciclu informațional idealizat al unui produs evidențiază un circuit "exterior" care presupune parcurgerea unui ciclu de tip "marketing-dezvoltare-ingineria de proces/ingineria de fabricație", ciclu care se reia de la pasul inițial prin intermediul produselor (ex: al reacției declanșante de acestea). Este evident că un astfel de circuit nu exclude existența unor bucle de reacție locale, de exemplu, de la fabricație la proiectare.

Această abordare de natură intrinsec serială conduce în mod inevitabil la cicluri lungi în timp, mai ales în cazul unor reacții inverse și al unor iterații numeroase.

În aceste condiții, se poate afirma că, pe lângă îmbunătățirea performanțelor în cadrul activităților aferente unui ciclu de produs, sistemele CAD/CAM trebuie să asigure modalități de comunicație eficiente pentru a permite coordonarea și desfășurarea în paralel a acestor activități. Aceasta presupune ca necesară existența unei resurse comune de date, de modele și de

instrumente care trebuie să fie accesibile din fiecare etapă a ciclului menționat anterior.

Acest tip de abordare este cunoscut în literatura de specialitate ca "inginerie concurentă" (a se vedea, de exemplu, proiectul nr. 5168-CACID din cadrul Programului ESPRIT).

În contextul acestei lucrări, procesul de proiectare este caracterizat prin două dimensiuni:

- domeniul de proiectare, respectiv proiectarea produsului ca funcție, proiectarea ca formă (design industrial), cât și proiectarea proceselor de fabricație;
- faza de proiectare cuprinde o fază inițială de proiectare conceptuală (în cadrul căreia sunt utilizate elemente cu caracter general pentru a elabora concepte globale), apoi se deplasează prin rafinări succesive către proiectarea de detaliu (în cadrul căreia toate detaliile sunt completate și transmise organizației care le va implementa).

Metoda utilizată pentru atingerea obiectivelor CAD/CAM schițate mai sus ar putea fi aceea de a elabora un mediu care permite operațiuni de proiectare, cât și facilități extensive de modelare, de simulare și de analiză, toate operațiunile efectuându-se prin intermediul unei surse comune de date pentru a se asigura o proiectare neafectată de erori și o funcționalitate eficientă a produsului proiectat. În plus, pe lângă paralelismul pe care o astfel de abordare îl permite în mod natural, dacă instrumentele sunt bine alese și proiectate, productivitatea proiectanților va crește, iar durata de proiectare se va reduce.

O mare parte a descrierilor de produse și de procese de fabricație, asociate produselor, o constituie descrierile de natură geometrică. Din acest motiv, instrumentele de proiectare și de analiză, incluse într-un sistem CAD/CAM, trebuie să se concentreze asupra aspectelor geometrice și, în particular, asupra proprietăților de volum solid ale produselor. Deși informația geometrică are un caracter esențial, aceasta constituie însă numai o parte relativ redusă în ansamblul cantității de informație necesară pentru a opera și controla un proiect complet. Cu alte cuvinte, sistemele CAD/CAM trebuie să fie, de asemenea, capabile să genereze și să prelucreze un volum considerabil de informație nongeometrică. Într-o formulare

generică, această informație se regăsește în conceptul de "trăsături" [2], detalii privind modelarea și conversia trăsăturilor în [4].

În realizarea tranziției către un mediu de modelare a solidelor, ca bază pentru un sistem de producție, se au în vedere trei categorii de cerințe:

- cerințe ale mediului de producție

Acestea se referă la varietatea tipurilor de utilizatori, la domeniul de aplicație, la procedurile de operare, precum și la justificarea tehnică și economică a sistemului.

- cerințe ale sistemului

Pornind de la constatarea că sistemele CAD/CAM evoluează foarte rapid către statutul de sisteme "mari și complexe" (de exemplu, nu s-a prevăzut că, metodele de modelare a solidelor, concepute inițial pentru utilizare în robotică, se vor extinde pentru a realiza sisteme CAD interactive, pe baza cărora să se construiască sisteme de modelare în alte domenii), cerințele din această categorie urmăresc să confere sistemului o serie de calități specifice precum extensibilitate, capacitatea de a "compune" noi aplicații, flexibilitate față de modificările mediului în care operează (de exemplu, față de suportul grafic sau față de sistemele de baze de date).

- cerințe de modelare

În continuare, vom detalia numai cea de a treia categorie de cerințe (cerințele de modelare); amănunte privind cerințele din primele două categorii în [16].

2. Cerințe de modelare

Cerința esențială a oricărui sistem de modelare este aceea de a pune la dispoziție reprezentări de date și proceduri care permit rezolvarea oricărei probleme relevante.

Avem, așadar, de-a face cu nivelul conținutului semantic al datelor și al procedurilor. De exemplu, în modelarea geometrică, o ierarhie a nivelurilor de conținut semantic ar putea fi reprezentată de:

- (1) imagini (elemente de imagini)
- (2) desene 2D (linii)
- (3) desene 3D din linii (wire frame)
- (4) solide 3D (corpuri/obiecte solide)

(5) ansambluri de solide 3D (obiecte solide și relații între acestea)

(6) model al unui sistem fizic integral (geometric, electric, proprietăți magnetice etc.).

În raport cu această ierarhie, un sistem de prelucrare a imaginilor permite rezolvarea de probleme relative la elementele unei imagini, dar nu este capabil să furnizeze în mod direct un răspuns la întrebări privind scenele. Un sistem pentru desene 2D poate rezolva întrebări relative la linii, dar nu poate răspunde imediat la problemele legate de forme (exemplu tipic: pentru un sistem de desenare în electronică, capătul unei săgeți de cotă are aceeași structură de date ca a unui element al obiectului). Continuând analogiile, un sistem pentru desene 3D din linii (wire frame) poate rezolva, dar nu în mod direct, probleme relative la muchii și la volume. Un sistem pentru modelarea solidelor 3D poate răspunde la toate întrebările privitoare la geometria volumului 3D al unui obiect.

În general, se consideră că nu este practic să se asigure creșterea automată a nivelului de conținut semantic într-un mediu de producție. Un sistem trebuie să fie proiectat pentru a trata nivelul semantic solicitat de aplicațiile acestuia. În domeniul ansamblurilor de repere mecanice 3D, nivelul semantic solicitat este acela al ansamblurilor de solide 3D, adică reprezentarea de obiecte solide și de relații între acestea. Este de dorit ca mulțimea de relații admisibile să fie extensibilă și să includă cel puțin: poziția relativă, compoziția ierarhizată, ansamblul, legăturile cinematice etc.

O altă cerință importantă impusă sistemelor de modelare o constituie **completitudinea**, atât în ceea ce privește tratarea tuturor cazurilor posibile, cât și necesitatea de a dispune de obiecte în număr suficient.

În sfârșit, sistemul de modelare trebuie să fie numeric robust sau, într-o formulare explicită, soluțiile pe care acesta le calculează să fie valide până la o toleranță cunoscută, iar sistemul să nu înregistreze nici o cădere din motive numerice.

Un exemplu reprezentativ de sistem, care operează cu un conținut semantic între nivelurile 5 și 6 enunțate mai sus și care răspunde în mod satisfăcător cerințelor de modelare, îl constituie procesul de proiectare geometrică GDP al firmei IBM [16].

3. Pregătirea datelor de produs utilizând standardele PDES/STEP

După cum s-a subliniat în secțiunea anterioară, pregătirea datelor aferente produselor pentru planificarea asistată de calculator a proceselor de prelucrare (CAPP) este o problemă importantă, dar și dificilă, atât din perspectiva de cercetare, cât și din perspectiva practică. Au fost propuse diferite metode și proceduri, dar majoritatea acestora nu au avut succesul scontat, în principal din lipsă de consistență sau de generalitate; această constatare rămâne valabilă chiar și pentru tehnologia de grup, una dintre primele metode inițiate în domeniul CAPP.

Chiar și încercarea inspirată de creșterea popularității și a gradului de acceptare a sistemelor CAD, de a extrage datele de produs, direct sau indirect, dintr-o bază de date CAD (cum ar fi, de exemplu, AutoCAD), se dovedește limitată ca valoare operațională datorită următorilor factori:

(1) cele mai multe sisteme CAD nu conțin toleranțe și date despre calitatea suprafețelor, elemente care sunt esențiale pentru CAPP;

(2) structura bazelor de date ale (majorității) sistemelor CAD limitează varietatea trăsăturilor de prelucrare recunoscutibile: potrivit lucrării [9], nici un proiect ale cărui rezultate au fost raportate nu a fost capabil să extragă trăsături de produs, cu excepția localizării unor părți axial-simetrice.

(3) diferitele sisteme CAD au scheme de reprezentare a datelor diferite și, prin urmare, sunt necesare și metode diferite de extragere a trăsăturilor. Dacă un sistem CAPP operează pe o bază directă cu un sistem CAD, atunci procedurile de extracție a datelor vor trebui adaptate la fiecare sistem CAD cu care se intră în relație.

O altă încercare de a elimina ruptura dintre CAD și CAPP, reprezentată de "fișierul IGES" (Initial Graphics Exchange Specification) s-a dovedit a fi limitată (exceptând generalitatea) de aceleași probleme, ca în cazul utilizării unui sistem CAD.

Prin prisma acestor considerații, efortul curent de cercetare-dezvoltare este subordonat următoarelor două obiective:

(a) abstracții consistente și neambigue ale caracteristicilor produselor între diferite aplicații;

(b) abilitatea de a obține sau de a deriva caracteristici ale produselor pentru aplicații cu specific de disciplină (de exemplu, CAPP) pornind de la o definiție generică, partajată a produsului.

PDES/STEP și sistemele de planificare a proceselor (CAPP)

Prin PDES se desemnează "Product Data Exchange using STEP", iar STEP este acronimul pentru "STandard for the Exchange of Product data"; proiectul [9] a fost lansat la jumătatea decadei 80 și se bucură de o acceptare internațională. Într-o descriere simplă, PDES/STEP este un mecanism neutral pentru schimbul de date de produs având capacitatea de a reprezenta datele de definiție ale unui produs pe durata/parcursul ciclului de viață al acestuia. El este conceput astfel încât să fie informațional complet pentru toate aplicațiile de inginerie și, în același timp, să fie interpretabil de către aplicații de inginerie.

În legătură cu PDES/STEP, se pot evidenția două aspecte notabile [9]:

(1) PDES/STEP se construiește după o arhitectură pe trei straturi: de aplicație, logic și fizic.

Stratul de aplicație dezvoltă un număr de modele tematice specifice aplicațiilor individuale. Stratul logic utilizează limbajele EXPRESS și EXPRESS-G ca suport pentru a defini entități și relații între entități. Acest strat reprezintă și descrie toate modelele tematice în formă fizică de scheme. Stratul fizic furnizează structura de date care satisface necesitățile de partajare și de comunicație a datelor.

(2) PDES/STEP conține trei componente importante: modelele de referință, EXPRESS și structura de fișier STEP.

Modelele de referință furnizează schemele de definiție ale produsului pentru o descriere completă și neambiguă a produsului respectiv. EXPRESS este limbajul adoptat în cadrul PDES/STEP ca limbaj de modelare a informației pentru a descrie datele de produs și pentru a defini structurile de date, operațiile și constrângerile. Structura de fișier STEP oferă o schemă sigură și eficientă pentru comunicația de date și de colaborare (ex: simultaneitate, concurență) în activitățile de inginerie.

Modelele de referință PDES/STEP

Între diferitele modele de referință disponibile în PDES/STEP se consideră ca fiind relevante pentru aplicațiile de tipul CAPP următoarele cinci modele: Figura Nominală, Trăsături de Tip Formă, Materiale, Toleranțe ale Formei și Informația de Suprafață. Rolul acestor modele se poate anticipa din denumirile ca atare; pentru lucrarea de față prezintă interes modelul Trăsături de Tip Formă (TTF), care definește trăsături privitoare la "formele" caracteristice unei figuri nominale complete. Precizăm că prin "figură" se desemnează echivalentul termenului din limba engleză "shape", accepțiunea fiind aceea de aspect general (forma generală, silueta) a unei piese oarecare. Așa cum se arată în [2], introducerea modelelor din clasa TTF constituie o abordare flexibilă în ceea ce privește rolul trăsăturilor de tip formă în reprezentarea unei figuri și în evidențierea unei mari varietăți de trăsături de interes pentru industrie.

Protocolul de aplicație CAPP

După cum s-a arătat, PDES/STEP este un mecanism neutral pentru schimbul de date aferente modelului de produs, care este capabil de a reprezenta datele de definiție ale unui produs pe parcursul ciclului de viață al acestuia. De asemenea, acest mecanism este conceput pentru a fi complet informațional pentru toate aplicațiile de inginerie și, în același timp, pentru a fi interpretabil de către aplicații de inginerie.

Prin urmare, se poate anticipa că mărimea unui fișier STEP, chiar și pentru un reper relativ simplu, poate deveni prohibitivă din punct de vedere operațional (pentru a da un ordin de mărime, fișierul STEP pentru un șurub simplu se listează pe mai mult de 15 pagini de listing calculator); deci, nici ideea asigurării schimbului de date prin extragere directă dintr-un fișier STEP nu poate evita dificultățile de principiu privind volumul foarte mare de date.

Din acest motiv, s-a elaborat conceptul de "protocol de aplicație" [9], care intermediază schimbul de date conform unei structuri de straturi concentrice. În centrul acestei structuri se găsește baza de date PDES/STEP, în cadrul căreia un produs este definit utilizând modelele de referință care sunt descrise la rândul lor de limbajul EXPRESS. Inelul cel mai exterior este reprezentat de un set de aplicații de inginerie (de exemplu, planificarea prelucrărilor, controlul numeric, programarea producției etc.). Între acestea, se

găsește un inel constituit de un set de "protocoale de aplicație", fiecare servind o anumită aplicație de inginerie.

Protocolul de aplicație constituie astfel un instrument de integrare între sistemele CAD (PDES/STEP) și o anumită aplicație. Din punctul de vedere al unei astfel de integrări s-au identificat trei cerințe principale:

(1) aplicațiile să fie complet suportate (în sensul că toate datele necesare unei aplicații să fie disponibile de la protocol);

(2) inter-relațiile și constrângerile între aplicații (de exemplu, consistența sau dependența) să fie definite în mod formal;

(3) informația să fie prezentată utilizatorului într-o manieră unificată (de remarcat că, un mediu unificat permite dezvoltarea aplicațiilor de inginerie).

Bibliografie

1. BRAID, L.C.: Geometric Modelling. In: *Advances in Computer Graphics I* (G. Enderle, M.Grave, and F. Lillehagen, Eds.), Springer-Verlag, Berlin, 1986, pp. 325-362.
2. BRONSVOORT, W.F., F.W JANSEN: Feature Modelling and Conversion-Key Concepts to Concurrent Engineering. In: *Computers in Industry*, Vol.21, No.1, 1993, pp.61-86.
3. LEAU, J.J., TSAI, W.II.: The Minimum Feature Point Set Representing a Convex Polyhedral Object. In: *Pattern Recognition Letters*, Vol.11, No.3, 1990, pp.225-229.
4. LEE, Y.C., FU, S.K.: Machine Understanding of CSG: Extraction and Unification of Manufacturing Features. In: *IEEE Trans. on Computer Graphics and Applications*, January 1987, pp.20-32.
4. MELIORN, K.: *Multi-Dimensional Searching and Computational Geometry*, Springer-Verlag, Berlin, 1984.
6. PATEL, M.: A Method for the Representation, Evaluation and Display of CSG Models in PHIGS and PHIGS+. In: *Computer Graphics Forum*, Vol.8, 1989, pp.337-345.
7. PRATT, M.J.: Interactive Geometric Modelling for Integrated CAD/CAM. In: *Advances in Computer Graphics I* (G. Enderle, M.Grave, and F. Lillehagen, Eds.), Springer-Verlag, Berlin, 1986, pp.363-380.

8. PURFURST, R.: Ein Tiefenpufferalgorithmus. In: *CAD und Computergraphik*, Vol.12, No.3/4, 1989, pp.93-96.
9. QIAO, L.H., ZHANG, C., LIU, T.H., BEN WANG, H.P., FISHER, G.W.: A PDES/STEP-Based Product Data Preparation Procedure for Computer-Aided Process Planning. In: *Computers in Industry*, Vol.21, No.1, 1993, pp.11-22.
10. REQUICHA, A.A.G.: Representations for Rigid Solids: Theory, Methods and Systems. In: *ACM Computing Survery*, Vol.12, No.4, 1980, pp.437-464.
11. ROGERS, D.F., EARNSHAW, R.A.: *Techniques for Computer Graphics*, Springer-Verlag, Berlin, 1987.
12. ROGERS, D.F., ADAMS, A.J.: *Mathematical Elements for Computer Graphics* (Second Edition), Mc.Graw-Hill, New York, 1989.
13. ROSSIGNAC, J.R., VOELCKER, H.B.: Active Zones in CSG for Accelerating Boundary Evaluation, Redundancy Elimination, Interference Detection, and Shading Algorithms. In: *ACM Transactions on Graphics*, Vol.8, No.1,1989, pp.51-87.
14. ROSSIGNAC, J.R., REQUICHA, A.A.G.: Piecewise-Circular Curves for Geometric Modelling. In: *IBM Journal of Research and Development*, Vol.31, No.3, 1987, pp.296-313.
15. SAMET, H.: Bibliography on Quadrees and Related Hierarchical Data Structures. In: *Data Structures for Raster Graphics* (L.R.A. Kessener, F.J. Peters and M.L.P. van Lierep, Eds.), Springer-Verlag, Berlin, 1986, pp.9-38.
16. WOLFE, R.N., WESLEY, M.A., KYLE, J.C.Jr., GRACER, F., FITZGERALD, W.J.(1987): Solid Modelling Design. In: *IBM Journal of Research and Development*, Vol.31, No.3, 1987, pp.277-295.