

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI
Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică
Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor

GRAFICA PE CALCULATOR

TEMA 11. MODELAREA GEOMETRICĂ TRIDIMENSIONALĂ

l. u., dr. NASTAS Andrei

- 11.1. Modelarea prin instanțiere
- 11.2. Modelarea pe bază de operații booleene
- 11.3. Reprezentări bazate pe geometria constructivă a solidului
- 11.4. Descompunerea în celule
- 11.5. Metode bazate pe extrudare
- 11.6. Decuparea spațială
- 11.7. Modelarea multistrat și multiobiect
- 11.8. Suprafețe neregulate și cavități
- 11.9. Vizibilitate și rigiditate
- 11.10. Interferențe globale și cavității (adâncituri)

11. Modelarea geometrică tridimensională

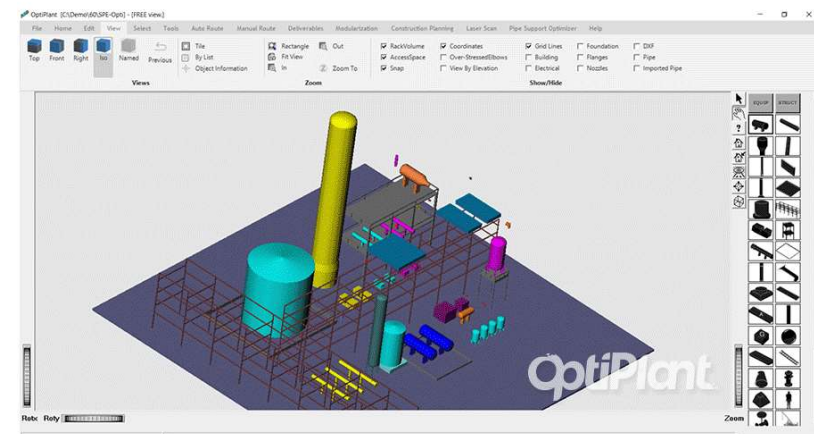
Grafică tridimensională - secțiune a graficii pe calculator, set de comenzi și instrumente destinate afișării imaginii obiectelor de volum. Cel mai frecvent este utilizată pentru a crea imagini pe planul ecranului sau foi tipărite în: cartografie, vizualizarea arhitecturală, cinematografie, televiziune, jocuri pe calculator, materiale tipărite, în știință și industrie.

11.1. Modelarea prin instanțiere

Instanțierea este reprezentarea cea mai simplă folosită în modelarea solidelor, deoarece principiul său este "să nu se utilizeze reprezentarea". Această metodă folosește o listă de primitive geometrice. Deși mare parte dintre modelele 2D și 3D utilizează instanțierea, această metodă este deseori insuficientă pentru aplicații complexe de modelare și reprezentare a obiectelor de formă liberă.

Instanțierea prin primitive simple este cea mai simplă metodă de reprezentare și implică descrierea modelelor prin variația dimensiunilor lor tridimensionale cu ajutorul unei singure primitive. Tehnica se poate aplica figurilor din familia componentelor care se aseamănă din punct de vedere geometric și topologic, dar nu și dimensional și pentru care sunt date valori limitative ale primitivelor de desenare.

OptiPlant's Instantaneous 3D Modelling in Action



11.2. Modelarea pe bază de operații booleene

Tehnica bazată pe operații booleene constă în asamblarea mai multor volume cu ajutorul operatorilor booleeni: reuniunea (\cup), intersecția (\cap) și diferența ($-$).

Avantajul acestei metode constă în faptul că oferă o abordare foarte intuitivă.

Inconvenientul constă în faptul că nu se cunoaște exact topologia obiectului global și de aici apar și probleme la "închidere" completă a conturilor. De exemplu, intersecția a două cuburi adiacente este o față plană. O față plană nu este un volum, ea nu mai face parte din reprezentare și nu i se mai pot aplica alți operatori booleeni.

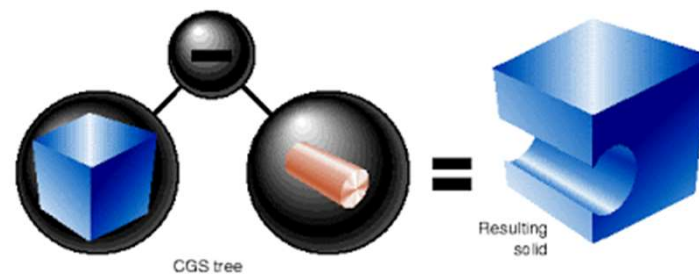
Se exclude dezvoltarea de alte primitive, deci nu se apelează la punct, curbă sau suprafață.

11.3. Reprezentări bazate pe geometria constructivă a solidului

Geometria constructivă a solidului (CSG - Constructive Solid Geometry) este un caz particular de operație booleană: un obiect este reprezentat sub forma unui arbore binar, unde nodurile sunt operații booleene regularizate sau operatori de transformare geometrică (rotație, translație etc.), iar frunzele sunt primitive geometrice de tip "volume". S-au elaborat numeroși algoritmi pentru parcurgerea unui arbore CSG și pentru a extrage informații în vederea afișării obiectelor.

Tehnica bazată pe geometria constructivă a solidului CSG implică în elaborarea unui model combinații teoretice ale unui set de primitive geometrice ca: cilindri, prisme, paralelipede ș.a.

Pentru structura de date este folosit ca model graful orientat. În acest caz, graful este de un tip particular, cunoscut ca arbore binar, în care nodurile sunt conectate prin ramuri la un nod rădăcină. Orice nod are numai un singur "părinte" și doi "fii", cunoscuți sub numele de "frunze". În modelul CSG, "frunzele" sunt primitive geometrice, iar nodul rădăcină și nodurile intermediare satisfac setul de operații booleene care construiesc modelul.



11.3. Reprezentări bazate pe geometria constructivă a solidului

Primitivele pot fi definite în mai multe moduri. În unele sisteme acestea pot fi solide mărginite, iar în alte cazuri pot fi derivate din intersecția primitivelor simple, cunoscute și sub numele de semispații.

Există suprafețe, precum cilindrii sau planele infinite, care divid spațiul de coordonate într-un solid și un semispațiu. Un cub unitar, de exemplu, poate fi construit prin intersecția a șase semispații planare, paralele cu planele $y-z$, $z-x$ și $x-y$, prin punctele $x = 0$, $x = 1$, $y = 0$, $y = 1$, $z = 0$, $z = 1$.

Una dintre problemele principale ale modelării teoretice este calcularea eficientă a intersecției dintre elementele modelului. Pentru modele complexe, cu multe instanțieri de primitive, calculul efectiv poate apela la numeroase intersecții. Complexitatea și dificultatea acestei proceduri poate fi redusă prin divizări spațiale ale modelului astfel încât aceste intersecții să fie testate numai pentru zonele vecine ale primitivelor.

11.4. Descompunerea în celule

Descompunerea în celule este o metodă care descrie modelul prin ansamblul celulelor elementare ale formei, celule care satisfac condiția că sunt unite fără a se intersecta. Tehnica nu este foarte răspândită în modelarea geometrică, dar constituie baza analizei elementelor finite, în care o formă complexă este aproximată prin analiza unui ansamblu de mici elemente care reprezintă forma (figura 11.1).

În general, o astfel de structură conține mai multe liste: de suprafețe, de trasee, de opriri, de vârfuri etc. Obiectul este descris ca o listă de suprafețe care formează o învelitoare. Un ansamblu de pointeri care referă aceste liste permite accesul la informații certe privind topologia obiectului. Această tehnică folosește următoarele tipuri de liste:

- listă de fațete conținând coordonatele punctelor care le definesc;
- listă de vârfuri pentru fiecare latură (care se combină cu prima listă);
- liste de vârfuri / fațete / muchii (fiecare față este definită prin muchiile sale și fiecare muchie prin vârfuri).

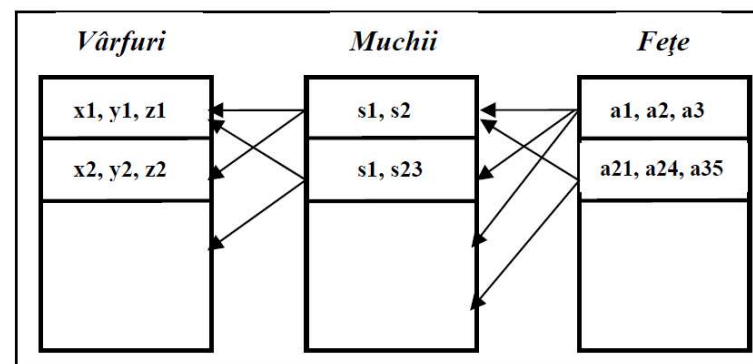
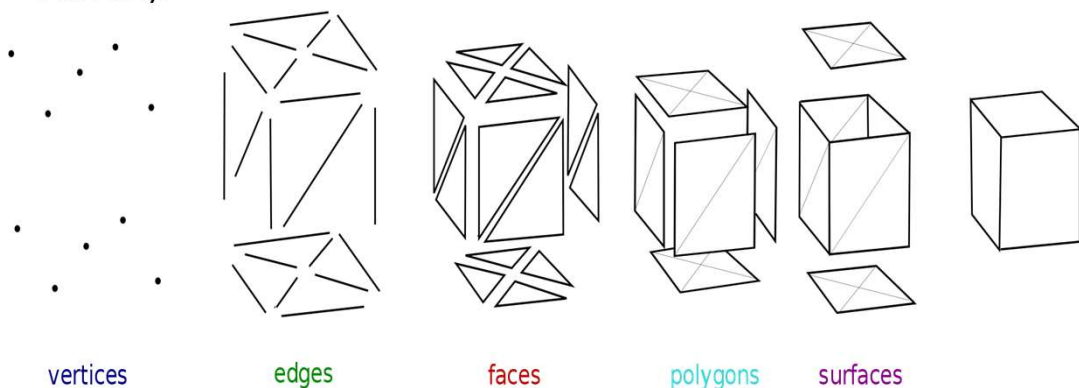
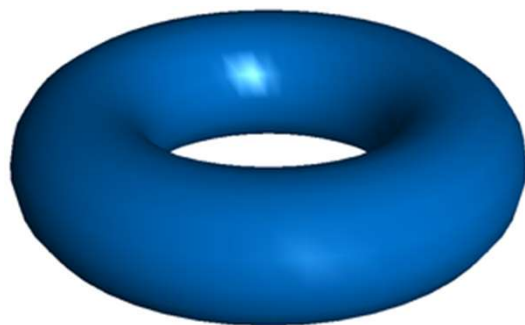


Fig. 11.1. Descompunerea bazată pe liste de vârfuri - muchii - fețe

11.4. Descompunerea în celule

Aplicarea fiecărui model de structură depinde de operațiunile ce urmează să se efectueze. De exemplu, pentru a efectua o umbrire de tip Gouraud, este necesară dispunerea pentru fiecare latură, a pointerilor pe fețele adiacente. Normala în vârfuri este calculată efectuând media normalelor la fețele care le conțin.

Această metodă nu se poate folosi pentru poliedrele care sunt compuse din primitive neplanare. Se pun probleme greu de rezolvat legate de topologie. De asemenea, metoda este imposibil de utilizat pentru suprafețe definite prin puncte de control (Hermite, Bezier etc.).



11.5. Metode bazate pe extrudare

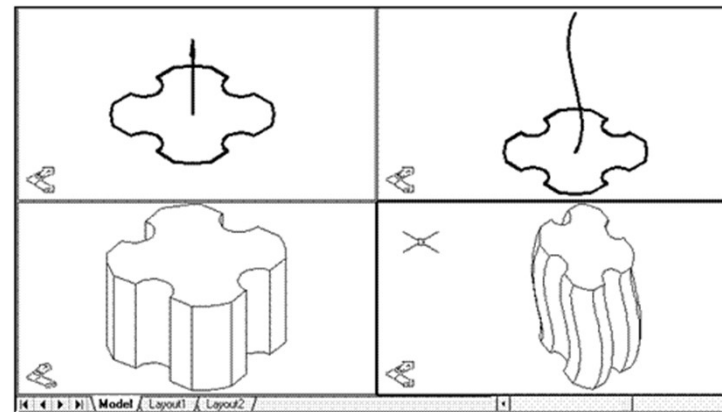
Multe obiecte tridimensionale (3D) pot fi definite ca extrudări de obiecte bidimensionale (2D) în spațiu. Se definesc obiectele printr-un solid 2D și o curbă care descrie traiectoria acestui solid în spațiu. Ansamblul tuturor pozițiilor solidului 2D formează solidul 3D.

Se utilizează mai multe tipuri de extrudări:

- extrudare prin translație, în cazul în care traiectoria este o dreaptă;
- extrudare prin rotație, în cazul în care traiectoria este un cerc;
- extrudare generalizată, în cazul în care traiectoria este o dreaptă oarecare.

Talia suprafeței solidului 2D poate de asemenea, să varieze; de exemplu, prin extrudarea unui pătrat de-a lungul unui segment octogonal rezultă o piramidă.

Avantajul metodei constă în aceea că este foarte intuitivă pentru utilizatori. Dezavantajul provine din faptul că se pot descrie doar clase limitate de obiecte.



11.6. Decuparea spațială

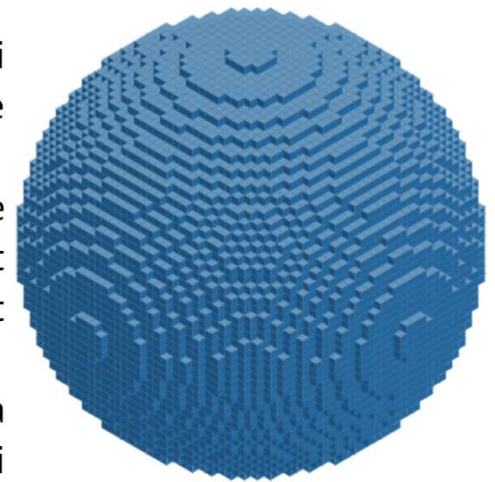
Metoda decupării spațiale este similară cu metoda descompunerii în celule, în care modelul este împărțit într-un număr de mici elemente, dar acest caz presupune identificarea cu o rețea regulată de volume cubice care sunt complet sau parțial ocupate de obiectul care este modelat.

Acest tip de reprezentare folosește decuparea obiectului de modelat în mici celule adiacente și disjuncte. Metoda are o variantă foarte des folosită și anume descompunerea în voxelii.

Spațiul este decupat într-o rețea regulată de voxelii (volume elementare). Fiecare voxel este activ sau inactiv după cum o parte de obiect se găsește sau nu în acest volum elementar. Singurele primitive la care apelează această reprezentare sunt voxelii.

Cele mai cunoscute utilizări ale acestui tip de reprezentare este redarea imaginilor în medicină sau recuperarea datelor achiziționate prin utilizarea unui scanner.

O variantă a acestei metode subdivizează spațiul în zone: pline, parțial pline și vide. Dacă o zonă este parțial plină, ea se subdivide până se obțin doar zone pline și vide. Subdivizarea se oprește atunci când precizia obținută este satisfăcătoare.



11.7. Modelarea multistrat și multiobiect

Sistemele multistrat și multiobiect sunt sisteme interactive de proiectare a formelor tridimensionale. Proiectantul transmite comenzi prin intermediul perifericelor hardware, iar aceste sisteme actualizează reprezentările interne ale modelului și dacă e necesar, reîmprospătează imaginile pe ecran.

Sistemele trebuie să fie suficient de performante încât să poată răspunde comenzilor în câteva fracțiuni de secundă, deoarece returnarea mesajelor de eroare sau reîmprospătarea imaginilor complexe trebuie să dureze foarte puțin.

Această tehnică întâmpină multe dificultăți în modelarea tridimensională, unele legate de mecanismele interne ale sistemului (structuri de date și programarea lor), iar altele legate direct de exploatarea sistemului (periferice disponibile, facilități software, compatibilități etc.).

Procedurile de reprezentare definite de sistem trebuie să fie stabile și unde e posibil, reversibile. Procesele stabile asigură o bună rulare și nu distrug datele când apare o eroare de programare sau fizică, deoarece implică metode de tratare a erorilor, cu asigurarea restaurării lor rapide la apariția erorii. Folosind aceste sisteme, se pot utiliza o mare varietate de comenzi simple.

Datorită faptului că monitorul este o suprafață bidimensională, este nevoie de facilități tridimensionale de vizualizare (ca: modelarea luminozității, perspectivei, umbrelor), toate acestea mărin­d timpul de recalculare a imaginii (una din marile probleme ale sistemelor interactive).

11.7. Modelarea multistrat și multiobiect

Sistemele multistrat definesc o procedură inițială, stabilă, care folosește o serie de comenzi reversibile, oferind utilizatorului posibilitatea de a emite comenzi, de a observa efectele și de a restaura în orice moment starea originală. Comenzile date formează o înregistrare a modelului la un moment dat și împreună cu structurile de date de ieșire pot fi folosite la reconstrucția modelului după apariția oricărui tip de defect.

Aceste sisteme realizează un bun backup, până la aproximativ 15 "straturi" simultane. Straturile pot fi îmbinate opțional, cu unele limitări date de forma matematică a suprafeței. Sistemul asigură condiția de continuitate obligatorie, prin faptul că schimbările într-un strat se reflectă automat în straturile adiacente.

11.7. Modelarea multistrat și multiobiect

Sistemele multiobiect, bazate pe experiența câștigată de tehnologia multistrat sunt extensibile și flexibile, oferind facilități deosebite.

Sistemele multiobiect permit modelarea, incluzând primitive de tip puncte, linii, curbe, volume și structuri.

Curbele și suprafețele de diferite ordine (de la unu la cinci) pot fi mixate ca primitive geometrice.

Limbajele extinse folosite permit comenzilor de tip utilizator să includă variabile scalare și vectoriale, argumente, expresii matematice. Aceste limbaje realizează o comunicare mai flexibilă cu modelul și pot facilita analize ale proprietăților geometrice.

Tipurile de curbe și suprafețe oferite ca primitive de reprezentare influențează ușurința cu care modelul poate fi construit. Există multe tipuri de curbe și suprafețe ce pot fi utilizate. Dacă formele curbe implicite permit specificarea exactă a proprietăților geometrice elementare, cubicele parametrice oferă, pe lângă aceste facilități și altele, de exemplu puncte la infinit (acestea sunt suprafețele Coons).

11.7. Modelarea multistrat și multiobiect

Orice punct (x, y, z) al stratului descris este dat de expresiile:

$$\begin{aligned} x &= f(u, w), \\ y &= g(u, w), \\ z &= h(u, w), \end{aligned} \tag{11.1}$$

unde u și w sunt parametri cu valori între 0 și 1 , iar f, g, h sunt funcții cunoscute (figura 11.2).

În figura 11.2 se prezintă valorile parametrilor pentru muchiile/vârfurile suprafeței.

La suprafețele Coons bicubice, folosite în sistemele multistrat, fiecare muchie a suprafeței este o parte a curbei tridimensionale, definită prin punctul său final și prin vectorul de pantă.

O curbă cubică parametrică poate fi reprezentată astfel:

$$C = [u^3 u^2 u^1] \begin{bmatrix} 2 & -2 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0_u \\ 1_u \end{bmatrix}, \tag{11.2}$$

unde tensorul final conține vectorii de poziție ai punctelor de final ale muchiei (0 și 1) și vectorii tangenți în aceste puncte, (0_u și 1_u) (figura 11.3).

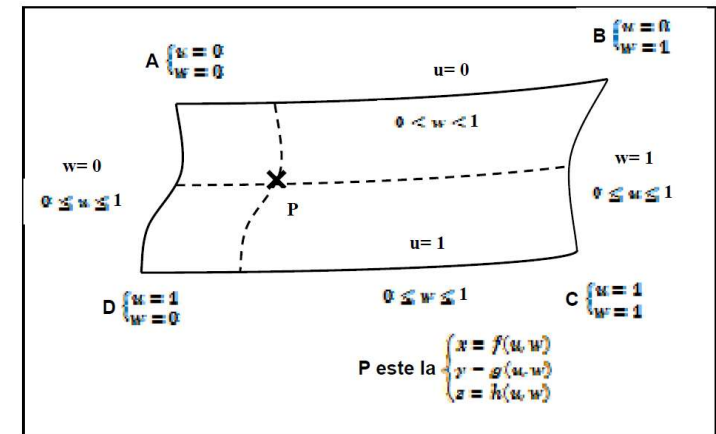


Fig. 11.2. Parametrii suprafețelor Coons

11.7. Modelarea multistrat și multiobiect

Plecând de la cele patru muchii cubice parametrice, o suprafață bicubică are patru vectori, care controlează suprafața formei.

Există un vector curbiliniu asociat cu fiecare capăt de muchie. În notație Coons, o suprafață bicubică este descrisă astfel:

$$uw = [u^3 u^2 u^1] \begin{bmatrix} 2 & -2 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 00 & 01 & 00w & 01w \\ 10 & 11 & 10w & 11w \\ 00u & 01u & 00uw & 01uw \\ 10u & 11u & 10uw & 11uw \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & -3 & 0 & 1 \\ -2 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w^3 \\ w^2 \\ w \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (11.3)$$

unde vectorii curbilinii sunt notați prin $00uw$ etc.

Respectând condiția ca sistemul să țină cont de "semnul inversat" al pantelor, proiectarea pe baza algoritmului tangențial interactiv este realizabilă, dar totuși greu de implementat.

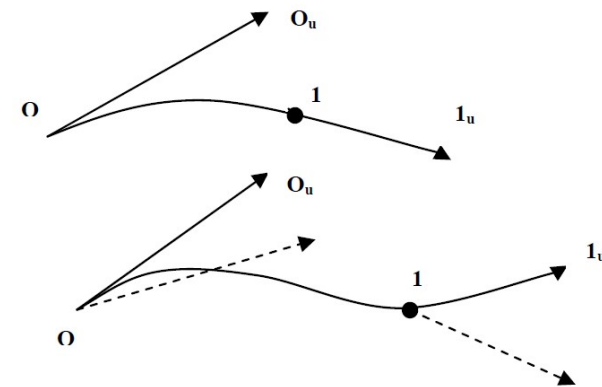


Fig. 11.3. Incrementarea coordonatelor v ale lui $0u$ și $1u$

11.7. Modelarea multistrat și multiobiect

Formulări Bézier

Esența acestor formulări este aceea că definirea suprafețelor și curbelor este asigurată de un număr de puncte, toate relative la originea și axele modelului. O curbă cubică parametrică poate fi astfel definită prin patru puncte, punctele de sfârșit și câte un punct de proiecție tangențial pentru fiecare vector curbiliniu (figura 11.4).

Expresia matematică este:

$$C = [(1-u)^3 \cdot 3(1-u)^2u \cdot 3(1-u)u^2 \cdot u^3] \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix}, \quad (11.4)$$

unde P_1 și P_4 sunt punctele finale ale curbei, iar P_2 și P_3 sunt puncte pe tangenta în P_1 , respectiv P_4 .

Curba Bézier în 3 puncte (parabola) se poate scrie ca:

$$C = [(1-u)^2 \cdot 2(1-u)u \cdot u^2] \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix}, \quad (11.5)$$

unde P_2 este dat de intersecția tangențelor la parabolă în P_1 și P_3 .

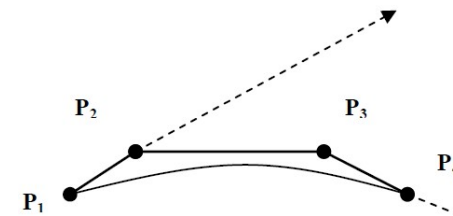


Fig. 11.4. Curbă cubică parametrică

11.7. Modelarea multistrat și multiobiect

O curbă Bézier de ordin mai mare, de exemplu 5, are parametrul u în gama $(0,1)$, iar curba se întinde între P_1 și P_5 . Punctele intermediare nu sunt situate, în general, pe curbă. Totuși rețeaua de linii ce unește aceste puncte intermediare aproximează curba și dă un indiciu bun asupra influenței asupra formei.

Extinzând analiza asupra unui strat Bézier din 4x4 puncte, se poate scrie:

$$C = [(1-u)^3 \cdot 3(1-u)^2u \cdot 3(1-u)u^2 \cdot u^3] \begin{bmatrix} A & S_{AB} & S_{BA} & B \\ S_{AD} & T_A & T_B & S_{BC} \\ S_{DA} & T_D & T_C & S_{CB} \\ D & S_{DC} & S_{CD} & C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (1-w)^3 \\ 3(1-w)^2w \\ 3(1-w)w^2 \\ w^3 \end{bmatrix}, \quad (11.6)$$

unde tensorul central conține doar vectorii de poziție relativ la origine și axele proiecției.

Punctele de pantă pentru modelare au fost notate S_{AB} , S_{BA} etc. Vectorii curbilinii au fost alocați celor patru puncte de proiectare ale suprafeței, T_a , T_b , T_c , T_d (figura 11.5).

Curbele parametrice pot fi descompuse în oricare punct de-a lungul lor, într-o pereche de curbe de același ordin și formă ca și curba originală.

Descompunerea unei curbe parametrice oferă 2 extra-puncte de proiecție, iar descompunerea unei curbe cubice oferă 3 extra-puncte etc.

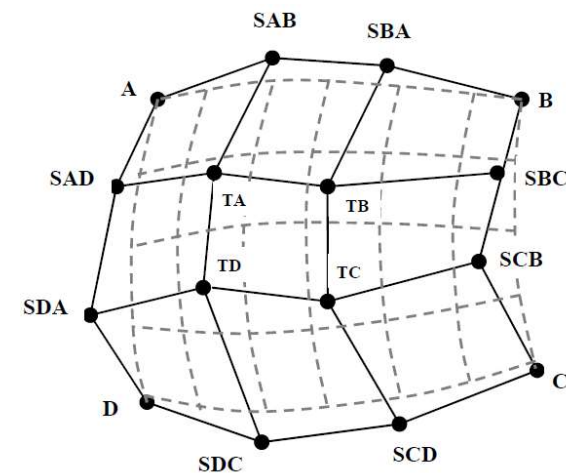


Fig. 11.5. Strat (petic) Bézier din 4x4 puncte

11.7. Modelarea multistrat și multiobiect

https://scask.ru/a_book_mm3d.php?id=113

Modelare multistrat

Reprezentările multistrat folosesc straturi Coons bicubice.

Când un strat este definit prima dată, acesta are valori presetate, cu toate pantele 0. (figura 11.6, *a*). În aceste condiții, muchiile curbei sunt linii drepte și rămân astfel până când colțurile *A*, *B*, *C*, *D* sunt modificate printr-o comandă a utilizatorului (figura 11.6, *b*).

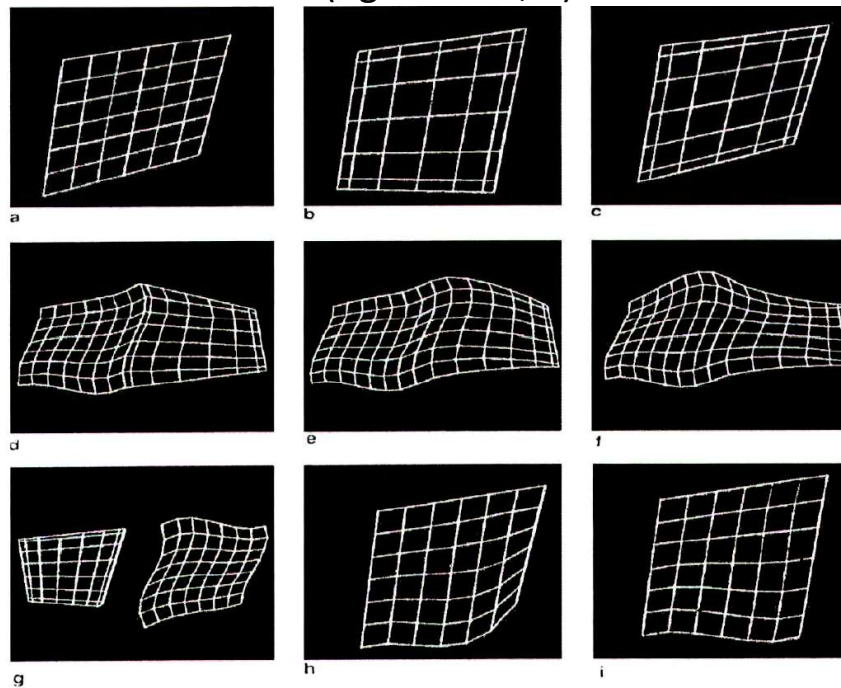


Fig. 11.6. Reprezentări multistrat

11.7. Modelarea multistrat și multiobiect

Când colțurile sunt plasate satisfăcător, stratul este "normalizat" pentru a face din fiecare din cei 8 vectori de pantă, vectori de coardă (figura 11.6, c).

Deși această normalizare nu modifică muchiile stratului, schimbarea vectorilor de pantă alterează distribuția liniilor parametrice, prezentând locurile unde vectorii sunt mari / mici.

Un vector tangențial mare are o rază mare a curbei și spațiu mare între liniile parametrice, pe când un vector tangențial mic, are o rază mică a curbei și un mănunchi de linii parametrice. Normalizarea pregătește utilizarea vectorilor tangențiali pentru reprezentarea obiectelor tridimensionale.

Mutarea colțurilor stratului introduce muchii curbe ale stratului (figura 11.6, d). Renunțând la statica colțurilor, tangentele SAB și SBA , pot fi proiectate pentru a produce muchii curbe pentru un anumit strat. (figura 11.6, e).

Schimbările asupra unei muchii determină schimbarea automată și pentru stratul cu care se îmbină.

Figura 11.6, f prezintă două straturi separate, iar figura 11.6, g prezintă efectul îmbinării muchiei AD a stratului 2 cu muchia BC a stratului 1. Dacă este cerută o continuitate a pantei stratului 2, atunci doar stratul 2 este modificat (figura 11.6, h). O schimbare asupra SAB din stratul 2 se reflectă automat asupra lui SBA din stratul 1 și reciproc.

Trebuie reconsiderate multiplele schimbări posibile ce pot afecta un strat și efectul lor asupra straturilor adiacente.

11.7. Modelarea multistrat și multiobiect

Figura 11.7, *a* prezintă 9 straturi continue care oferă libertatea de a schimba stratul central în mai multe moduri, prin comenzi singulare, astfel:

- mutând stratul întreg (figura 11.7, *b*); aceasta determină schimbarea tuturor celor 8 straturi învecinate, făcând din stratul 1 un "platou înalt";
- mutând colțul A al stratului (figura 11.7, *c*); aceasta schimbă 4 straturi învecinate și produce un "vârf local" în punctul lor comun;
- mutând panta SAD a stratului (figura 11.7, *d*); aceasta schimbă 4 straturi învecinate și produce o "vale și un deal" de-a lungul graniței dintre perechile opuse;
- mutând TA a stratului (figura 11.7, *e*), se determină schimbarea a 4 straturi, producând "văi și dealuri" în colțurile stratului.

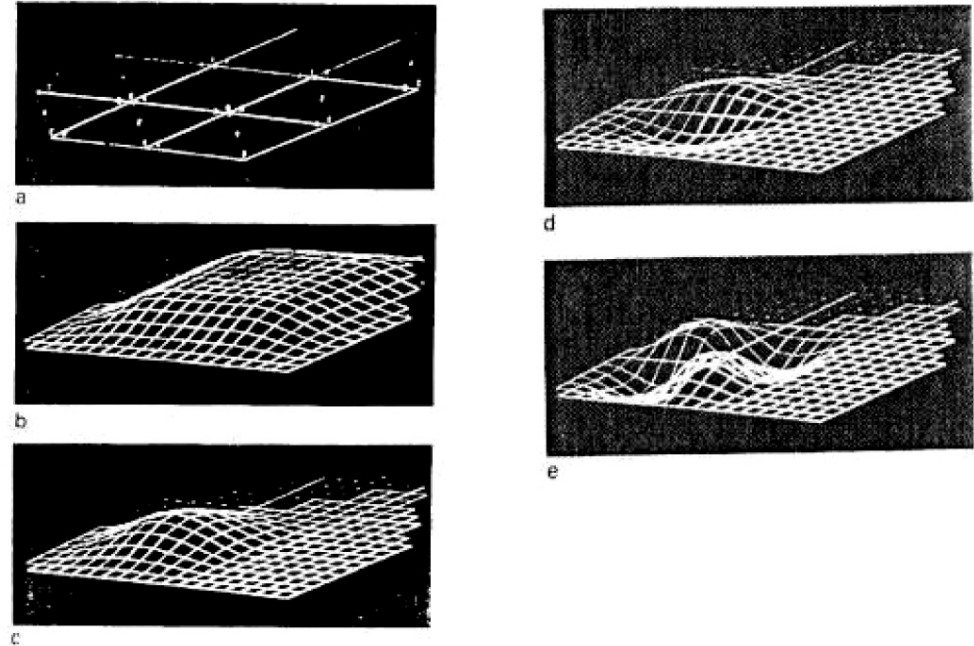


Fig. 11.7. Modificări ale straturilor adiacente

11.7. Modelarea multistrat și multiobiect

Proiectarea curbelor este precedată de crearea straturilor. Curbele Bézier definite prin 3 - 7 puncte, sunt disponibile și sunt afișate sub formă de rețele. Reprezentarea curbei constă în poziționarea punctului de sfârșit și manipularea punctelor de mijloc intermediare pentru obținerea formei dorite. Dacă se consideră că această curbă nu are forma dorită, se poate fie să se descompună curba, pentru a obține o pereche de curbe continue (de același ordin ca și curba inițială), fie să se asimileze curba cu una definită prin mai multe puncte prin compunere.

Aceste operații pot fi repetate până se obțin rezultatele dorite.

Compunerea oferă un control superior modelării, deoarece se introduce doar un singur punct suplimentar, pe când la divizare sunt necesare două sau mai multe puncte. Curbele pot fi unite în punctele lor de final. Straturile pot fi definite între patru curbe unite în patru colțuri. Punctele ce aparțin stratului sunt inițial setate la o valoare impusă de situația concretă.

11.7. Modelarea multistrat și multiobiect

Dacă forma internă dorită a stratului nu poate fi obținută cu ajutorul punctelor existente, proiectantul poate crește numărul de puncte. Un astfel de strat poate avea muchii de diferite ordine și centre.

În *sistemele multistrat*, o singură comandă definește un nou strat, dând posibilitatea imediată de a proiecta un strat complet. Avantajul constă în faptul că noii utilizatori pot să poziționeze rapid un set de straturi pe ecran, iar dezavantajul este acela că straturile întâmpină uzual dificultăți de a avea muchii ale curbei reușite și în final, de a avea suprafețe de calitate.

În *sistemele multiobiect*, definiția stratului se referă la curbele existente, forțând crearea și proiectarea lor înaintea creării și calculării stratului. Pentru continuitatea straturilor adiacente în sistemele multistrat, schimbarea pantei se face pentru a potrivi stratul curent cu straturile adiacente, iar în sistemele multiobiect, muchiile curbei trebuie să fie continue (în amplitudine și/sau direcție). Această continuitate impune punctele de proiectare a suprafeței. Multe alte diferențe în metodele de modelare provin din facilitățile superioare ale sistemului multiobiect.

11.8. Suprafețe neregulate și cavități

Problema cea mai importantă a reprezentării suprafețelor rigide este legată de vizibilitate. Din acest punct de vedere se definesc două nivele de vizibilitate: *completă și parțială*.

Când contururile suprafeței sunt complet vizibile, atunci suprafața poate fi reprezentată printr-o imagine convexă, ce reprezintă harta vizibilității suprafeței.

Au fost elaborați algoritmi care furnizează pachete de obiecte predefinite, pentru care vizibilitatea și rigiditatea pot fi determinate independent. Pentru construirea *hărții de vizibilitate* și pentru selectarea perechilor optime se minimizează suprafețele separate ale obiectului ce trebuie modelat.

În cazul cavităților, suprafețele celor două segmente (plăci) care se intersectează și sunt etanșe când obiectul este întreg, reprezintă *suprafețe de separare*. Perechile de direcții opuse, de-a lungul celor două plăci despărțitoare, reprezintă *direcții de separare*.

Adânciturile sau proeminențele cavității pentru care se realizează reprezentarea împiedică vizionarea lor, direcțiile separate fiind denumite subtăieri. În funcție de tipurile de subtăieri, se cunosc reprezentări geometrice similare cu diferitele dispozitive/instrumente industriale care le utilizează, de exemplu: canelare (degajare, retezare) realizarea proeminențelor folosind presarea miezului de turnare și presarea cavității. Subtăierile interne utilizează modelarea contactelor sau inserțiilor.

Selectarea direcțiilor și a suprafețelor de separare este importantă, deoarece acestea dictează numărul, forma și ordinea cavităților și afectează toți pașii următori ai algoritmului de lucru.

ÎNTREBĂRI