

Tehnici de interacțiune utilizator pentru trasarea adnotărilor grafice 3D plasate pe suprafețe poligonale 3D

Teodor Ștefănuț

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

teodor.stefanut@cs.utcluj.ro

REZUMAT

Dezvoltarea accelerată a sistemelor de calcul și a dispozitivelor grafice din cadrul ultimilor ani a permis răspândirea utilizării modelelor tridimensionale într-un număr tot mai mare de domenii. Acest fapt a condus la creșterea accelerată a numărului utilizatorilor fără pregătire tehnică ce trebuie să interacționeze cu scenele 3D într-un mod cât mai simplu, eficient și natural. În cadrul acestui articol vom prezenta o modalitate de adaptare a unor tehnici și metafore de interacțiune bidimensionale pentru a permite interacțiunea utilizator în spațiul tridimensional prin intermediul adnotărilor grafice 3D plasate pe suprafețe poligonale 3D [1]. Vor fi prezentate avantajele unei astfel de abordări dar și provocările care apar în implementarea sa.

Cuvinte cheie

Adnotare 3D, tehnici de interacțiune utilizator, dificultăți de trasare a adnotărilor grafice 3D.

Clasificare ACM

H5.2. Information interfaces and presentation (e.g., HCI): User Interfaces.

INTRODUCERE

Definiție 1: Adnotarea grafică 3D plasată pe o suprafață 3D reprezintă orice adnotare grafică tridimensională ale cărei puncte aparțin mulțimii punctelor de pe suprafața adnotată. Astfel, dacă notăm cu S suprafața adnotată, cu A adnotarea realizată iar cu p orice punct al adnotării A , putem exprima:

$$\forall p \in A, p \in S$$

O adnotare grafică 3D plasată pe o suprafață aproximată prin poligoane poate fi complet descrisă prin intermediul unui model M , definit ca o mulțime de elemente de forma:

$$M = \{G, A, C, P\}$$

unde:

- **G** reprezintă elementele geometrice ale adnotării (ex. puncte, muchii, fețe)
- **A** cuprinde atributele grafice ale adnotării (ex. culoare, grosimea liniilor, opacitate);
- **C** descrie elementele relevante privitoare la contextul de realizare a adnotării (ex. poziția și orientarea camerei);
- **P** codifică diferiți parametri ce contribuie la interpretarea corectă a semnelor grafice (ex. lungime, durată în timp, orientare)

În vederea definirii modelelor geometrice și a parametrilor adnotărilor grafice tridimensionale plasate pe suprafețe 3D oarecare vom prezenta în cele ce urmează câteva tehnici de interacțiune utilizator care să permită descrierea cât mai rapidă, eficientă și într-un mod cât mai natural a acestora. Utilizatorii vizați sunt persoane fără cunoștințe tehnice de specialitate, din domenii diferite de activitate. Astfel, în definirea tehnicilor de interacțiune trebuie să fie luat în considerare faptul că utilizatorii nu cunosc noțiunile specifice suprafețelor tridimensionale (vârf, muchie, față, triunghi, poligon etc.) ci relaționează cu acestea la nivel conceptual și de semnificație.

Dispozitivele de intrare considerate în tehnicile de interacțiune descrise aici sunt *mausul* și *creionul grafic*. Deoarece acestea sunt caracterizate printr-un spațiu de mișcare bidimensional, vom utiliza pentru reprezentarea tehnicilor de interacțiune metafore bidimensionale descrise în planul de vizualizare și automat transformate, cu ajutorul a diferiți algoritmi, în formă tridimensională plasată în spațiul de reprezentare a scenei 3D. Astfel, complexitatea operațiilor de poziționare și trasare desfășurate într-un spațiu tridimensional este semnificativ redusă, în timp ce limitarea gradelor de libertate a acțiunilor utilizatorului poate fi menținută la un nivel scăzut.

Un utilizator din domeniul medical care dorește să selecteze o zonă de piele afectată privește reprezentarea tridimensională sub forma unei metafore. Din punctul său de vedere structura poligonală nu există iar selecția prin trasarea adnotării grafice trebuie să se realizeze cu o precizie cât mai ridicată. În același timp, dacă parametrii de vizualizare pot fi astfel definiți încât la un moment dat întreaga zonă de interes să fie vizibilă, din punct de vedere al utilizatorului interacțiunea devine una bidimensională: metaforic, acțiunea de selecție se realizează pe "o imagine" iar noțiunea de adâncime nu mai este necesară. Cu toate acestea, adnotarea grafică rezultată trebuie să respecte definiția menționată anterior, iar algoritmi de trasare utilizați să asigure automat plasarea sa pe suprafața adnotată.

Tehnicile de interacțiune prin intermediul adnotărilor grafice fac parte din categoria tehnicilor de **manipulare directă**. Utilizatorul are posibilitatea de a interacționa direct cu suprafața vizată și de a adăuga noi informații sau de a modifica anumite proprietăți ale acesteia prin intermediul adnotărilor. În acest sens, în majoritatea cazurilor, adnotările sunt trasate numai în zone vizibile ale suprafeței. Există însă și situații specifice în care apare

necesitatea de trasare prin secțiuni ce sunt invizibile utilizatorului în poziția de definire a adnotării.

ALTE REALIZĂRI ÎN DOMENIU

Datorită avantajelor oferite de adnotarea grafică în interacțiunea cu utilizatorul, numeroase colective de cercetare au început să studieze posibilitățile oferite de aceasta și diferitele modalități de implementare. În prezent, adnotările grafice tridimensionale sunt utilizate în numeroase aplicații din domenii foarte diferite, cum sunt: editoare grafice 3D (Rhino 3D [2], Maya 3D, 3D Studio Max [3]), aplicații pentru prelucrarea imaginilor (Adobe Photoshop [4]), proiectarea asistată de calculator (Autocad [5]) sau aplicații pentru crearea, vizualizarea și analiza documentelor (Microsoft Word [6], Adobe Acrobat Reader [7]).

Cele mai multe dintre aceste adnotări grafice au forma unor primitive bidimensionale sau a unor termeni în format text, reprezentând o completare a informațiilor privitoare la documentul adnotat. Deși sunt plasate în spațiul 3D, aceste adnotări nu fac însă parte efectivă din scena de obiecte având un comportament separat și independent de restul elementelor. Legătura dintre aceste informații și suprafața/modelul 3D anotat se realizează prin intermediul ancorelor, fie manual – indicând un punct de interes pe suprafața vizată, fie automat – prin identificarea punctelor de interes după diferite criterii [8].

Doarece plasarea automată este foarte dificil de aplicat în majoritatea cazurilor, utilizatorul are adeseori responsabilitatea plasării adnotării grafice pe suprafața 3D. Complexitatea spațiului tridimensional ridică însă numeroase probleme de poziționare utilizatorilor neexperimentați, în special atunci când sunt utilizate dispozitive de intrare bidimensionale (maus, creion grafic) [9]. Adresând aceste dificultăți, una dintre principalele direcții de cercetare din prezent studiază dezvoltarea unor dispozitive de intrare/ieșire complexe care să integreze utilizatorul în medii virtuale și să îi permită o interacțiune naturală cu acestea, prin acțiuni similare celor din lumea reală [10], [11]. Principalul dezavantaj al acestei abordări este însă cauzat de costurile destul de ridicate necesare achiziționării unor astfel de sisteme, motiv pentru care răspândirea lor este destul de limitată.

O abordare complementară consideră însă adaptarea metaforelor și tehnicilor de interacțiune utilizator din spațiul bidimensional în cel tridimensional [12] pentru a permite utilizarea cât mai eficientă a dispozitivelor comune de intrare (maus și creion grafic) [13], [14]. În aceeași direcție de cercetare, prezentul articol descrie câteva tehnici de interacțiune utilizator care adaptează metafore bidimensionale în trasarea unor adnotări grafice în spațiul tridimensional, folosind dispozitive de intrare nespecializate cum sunt mausul și creionul grafic.

TEHNICI DE INTERACȚIUNE PENTRU TRASAREA ADNOTĂRILOR GRAFICE TRIDIMENSIONALE

Scenele de obiecte tridimensionale afișate non-imersiv sunt în fapt proiecții ortogonale sau perspective ale volumului de vizualizare pe un plan denumit *plan de vizualizare*. Astfel, utilizatorului îi este prezentată o imagine bidimensională în care adâncimea a fost inclusă

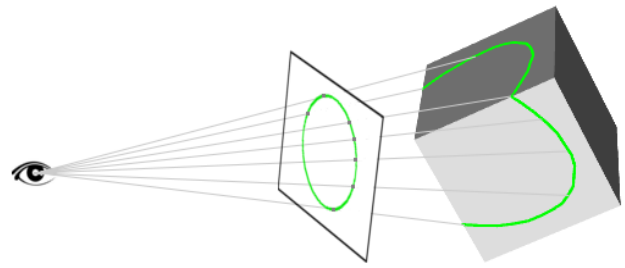


Figura 1. Proiecția figurii geometrice din planul de vizualizare pe suprafața 3D

în determinarea coordonatelor X și Y și în stabilirea vizibilității sau invizibilității punctelor din spațiul tridimensional.

În baza acestor caracteristici, tehnicile de interacțiune prezentate în cadrul acestui articol propun utilizarea acțiunilor desfășurate de utilizator în planul de vizualizare pentru a determina forma adnotării grafice în spațiul 3D (vezi Figura 1). În acest fel, utilizând dispozitive de intrare comune (maus, creion grafic) și fără a deține cunoștințe tehnice de specialitate, utilizatorul va avea posibilitatea de a descrie forme grafice tridimensionale plasate pe suprafețe 3D poligonale oarecare.

Deoarece în implementarea acestor tehnici de interacțiune nu este utilizat un cursor grafic tridimensional care să fie plasat în permanență pe suprafață, vom defini conceptul de *părăsire a suprafeței* ca reprezentând situația în care dreapta definită de punctul ce semnifică poziția utilizatorului și punctul curent din planul de proiecție indicat prin poziția cursorului nu mai intersectează suprafața adnotată în niciun punct vizibil.

Tehnicile de interacțiune descrise pot fi grupate în două categorii principale:

Trasarea liberă a adnotării grafice 3D

Trasarea liberă a unei adnotări grafice tridimensionale plasată pe o suprafață 3D oarecare presupune identificarea în timp real a tuturor punctelor indicate prin mișcarea liberă a dispozitivului de intrare (maus, creion grafic) pe suprafața vizată.

Datorită limitărilor dispozitivelor de intrare detecția punctelor indicate se realizează numai la anumite intervale de timp, ceea ce determină o discontinuitate a formei grafice atunci când viteza de mișcare a dispozitivului depășește un anumit prag. Distanța dintre două puncte consecutiv identificate va fi cu atât mai mare cu cât viteza de deplasare a dispozitivului va crește. De asemenea, în funcție de poziționarea obiectului, distanța parcursă de cursorul dispozitivului în planul de vizualizare poate fi diferită de cea parcursă în spațiul tridimensional. Astfel, pentru a respecta termenii Definiției 1, forma grafică a adnotării tridimensionale rezultate va fi cea a unei linii frânte, punctele indicate de utilizator fiind unite prin intermediul unor segmente trasate automat pe suprafața 3D adnotată.

Definirea segmentelor intermediare trebuie de asemenea să corespundă Definiției 1, deci nu pot fi întotdeauna trasate direct prin spațiul 3D (vezi Figura 2). În funcție de

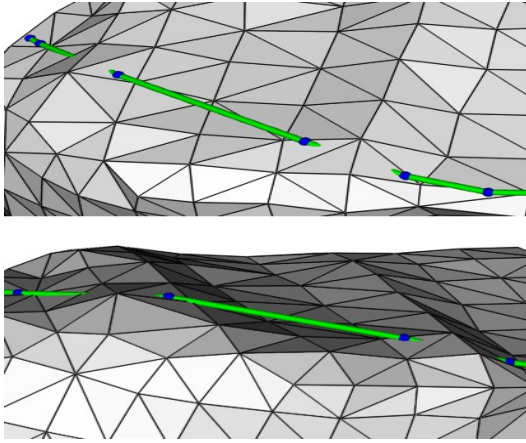


Figura 2. Trasarea incorectă a unei adnotări grafice 3D

performanțele dispozitivelor de intrare folosite și de viteza de deplasare a acestora în timpul definirii adnotării, există posibilitatea ca marea majoritate a punctelor consecutive să aparțină aceleiași fețe a suprafeței. În acest caz, segmentele intermediare fac într-adevăr parte din dreapta definită în spațiul tridimensional de cele două puncte.

Există însă și situații în care două puncte consecutive sunt plasate în fețe diferite ale suprafeței, care pot fi sau nu adiacente și/sau coplanare. Pentru a obține o trasare corectă, conformă cu definiția adnotării, este necesar ca fiecare segment din adnotarea finală să fie complet inclus într-o singură față a suprafeței adnotate. Din acest motiv modelul geometric al unei astfel de adnotări grafice va conține și numeroase puncte determinate automat, alături de cele definite cu ajutorul dispozitivului de intrare.

Trasarea de tip "bandă elastică" a adnotării grafice 3D

Trasarea liberă a adnotărilor grafice tridimensionale ridică anumite probleme legate de exactitatea formei generate. Spre exemplu, un număr mare de puncte definite în cadrul unei astfel de trasări nu sunt întotdeauna necesare. Toate punctele coliniare care sunt plasate în cadrul aceleiași fețe a suprafeței pot fi înlocuite cu o structură echivalentă alcătuită din primul și ultimul punct conectate printr-un segment de dreaptă.

Un alt aspect important este legat de precizia cu care poate fi trasată adnotarea. Este foarte dificilă definirea unui segment de dreaptă între două puncte date prin intermediul trasării cu mâna liberă. Din aceste considerente, în cele ce urmează vom prezenta câteva tehnici de interacțiune pentru definirea adnotărilor grafice bazate pe conceptul de "bandă elastică".

În domeniul interacțiunii om-calculator **banda elastică** descrie un concept prin care pot fi trasate diferite figuri geometrice care pot fi definite prin intermediul coordonatelor a două puncte (ex. linie dreaptă, dreptunghi, cerc etc.), prin fixarea unui punct și mișcarea mausului în direcția dorită. La fiecare deplasare, utilizatorului îi va fi prezentată forma grafică rezultată prin calcularea automată a tuturor punctelor ce o compun, conform unui algoritm prestabilit (linie dreaptă, linie frântă, arc de cerc etc.). Forma grafică finală va fi selectată în urma unei noi acțiuni explicite a utilizatorului (ex. maus clic).

După cum s-a menționat deja anterior, tehnicile de interacțiune au desfășurarea în planul de proiecție al scenei tridimensionale, transformările necesare pentru a crea adnotarea grafică 3D fiind realizate automat prin intermediul unor algoritmi specifici. Prin intermediul acestei abordări utilizatorului îi este în general impusă trasarea formelor grafice numai în zonele vizibile ale suprafeței, fiind necesară modificarea parametrilor de vizualizare pentru a putea continua trasarea.

Segment de dreaptă

Prin intermediul acestei interacțiuni utilizatorul are posibilitatea de a trasa în planul de vizualizare un segment de dreaptă, care va fi transformat automat în spațiul tridimensional al suprafeței adnotate. După fixarea punctului de început, care este obligatoriu plasat într-o zonă vizibilă a suprafeței, utilizatorul va putea mișca dispozitivul de intrare (maus, creion grafic etc.) în timp ce aplicația va face automat trasarea propusă. Modalitatea de determinare a formei grafice a adnotării dintre două puncte indicate prin dispozitivele de intrare este similară cu cea descrisă în cazul adnotării libere și trebuie să respecte aceleași condiții de definire. Deosebirea majoră constă în faptul că în cadrul acestui tip de interacțiune punctele indicate sunt plasate la o distanță pe suprafață semnificativ mai mare.

Este important de menționat faptul că, în funcție de algoritmul utilizat pentru transformarea formei grafice descrise din planul de vizualizare în obiect tridimensional, reproiectarea acestuia din urmă în planul de vizualizare nu va avea neapărat aceeași formă cu cea imaginară descrisă în 2D de către utilizator (vezi Figura 3). Acest aspect se datorează faptului că transformarea în sine nu reprezintă neapărat un proces de proiecție inversă din spațiul

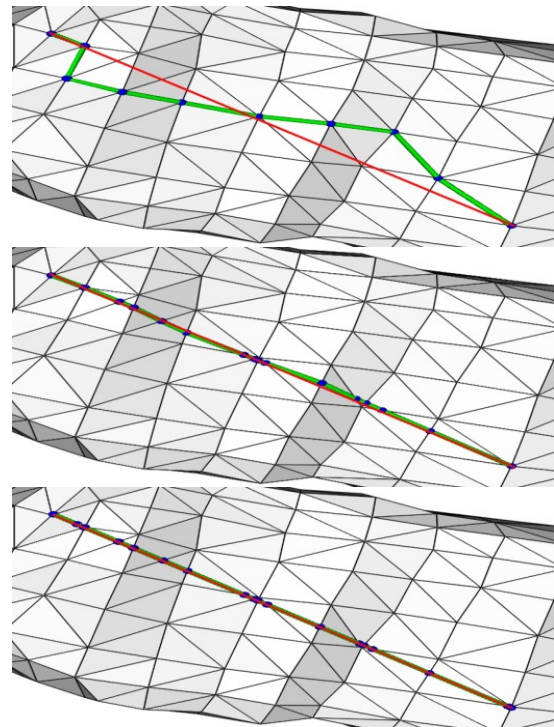


Figura 3. Transformarea unui segment de dreaptă din planul de vizualizare într-o adnotare grafică 3D prin diferiți algoritmi

bidimensional în cel tridimensional ci poate fi rezultatul unor algoritmi care funcționează numai în spațiul tridimensional (ex. unesc două puncte de pe o suprafață 3D prin intermediul unei linii frânte plasată pe aceeași suprafață).

În timpul deplasării dispozitivului de intrare, utilizatorul poate părăsi suprafața adnotată, caz în care aplicația va fi în imposibilitate de a calcula forma grafică rezultată, deoarece punctul final este nedefinit (nu este plasat pe suprafață). În funcție de modalitatea de implementare, aplicația poate utiliza ultimul punct selectat de pe suprafață sau poate anula complet forma grafică până la revenirea pe suprafață.

Un alt aspect foarte important în implementarea acestui tip de interacțiune în trasarea adnotărilor grafice tridimensionale plasate pe suprafețe 3D este tratarea zonelor concave (detalii în secțiunea următoare). Între oricare două zone vizibile ale suprafeței în care sunt definite punctele de început și de final ale formei grafice, pot fi plasate zone de concavitate care nu sunt evidente utilizatorului. Deoarece în cele mai multe situații acesta din urmă dorește trasarea unei forme continue, este important ca algoritmi utilizați la efectuarea transformării din 2D în 3D să trateze corespunzător și aceste secțiuni ale suprafeței.

Similar cu stabilirea punctului de start și în conformitate cu restricțiile menționate mai sus, punctul final al formei grafice poate fi stabilit de către utilizator numai într-o zonă vizibilă a suprafeței adnotate. Pentru crearea unor forme mai complexe, sub forma metaforică a unei linii frânte, aplicația poate pune la dispoziția utilizatorului metode automate sau manuale de repetare a acestei interacțiuni, intercalată sau nu cu acțiuni de re poziționare a suprafeței.

Dreptunghi

Pentru selectarea unor zone de interes în spațiul bidimensional, una dintre cele mai utilizate tehnici de interacțiune este definirea unei zone dreptunghiulare, prin metoda *benzii elastice*, cu muchiile paralele cu marginile ecranului. Această metaforă de selecție poate fi realizată numai într-un spațiu bidimensional, deoarece dreptunghiul este o figură geometrică bidimensională. Echivalentul acestei abordări în spațiul tridimensional este *paralelipipedul*, a cărui definire însă este mult mai dificil de realizat din perspectiva utilizatorului, mai ales atunci când este necesară selectarea doar a unei secțiuni din scena de obiecte.

Prin adaptarea tehnicii de interacțiune bidimensionale pentru selecția unei zone de pe o suprafață tridimensională se poate obține îmbinarea standardizării și a naturaleții gestului de selecție dreptunghiulară în spațiul bidimensional cu complexitatea și avantajele spațiului tridimensional, într-o modalitate care menține simplitatea interacțiunii cu utilizatorul. Percepția utilizatorului este aceea a selecției efectuate în cadrul unei imagini, deoarece toate acțiunile sale au loc în cadrul planului de vizualizare. Prin diferiți algoritmi însă va fi efectuată în mod automat o transformare în spațiul tridimensional care va permite selectarea zonelor vizibile direct pe suprafața adnotată.

Pentru a asigura precizia selecției și informarea corectă a utilizatorului asupra zonei real selectate este recomandat ca trasarea acestui tip de adnotare să se realizeze numai cu condiția ca cele patru puncte ce definesc dreptunghiul imaginar din planul de vizualizare să fie plasate în zonele vizibile ale suprafeței tridimensionale adnotate. Segmentele de dreaptă care unesc aceste puncte vor putea fi apoi determinate cu aceiași algoritmi ca și cei utilizați pentru implementarea tehnicii de interacțiune descrisă în secțiunea precedentă.

Formă geometrică inscripabilă în cerc

Există situații specifice în care constrângerile de paralelism a segmentelor dreptunghiului imaginar utilizat pentru indicarea zonei de selecție cu marginile ecranului sunt prea restrictive și nu permit efectuarea unei selecții corespunzătoare. De asemenea, există și cazuri în care zona de selecție poate avea o formă circulară și nu una dreptunghiulară.

Utilizarea unei linii frânte închise pentru aceste situații permite o mai mare flexibilitate dar, în același timp, implică un efort suplimentar din partea utilizatorului. Printr-o tehnică de interacțiune similară cu cele descrise anterior, utilizatorul poate avea posibilitatea de a defini în planul de proiecție diferite figuri geometrice bidimensionale inscripabile într-un cerc, pe care să le utilizeze pentru efectuarea operațiilor de selecție în spațiul tridimensional.

Aceste figuri geometrice sunt poligoane care pot avea un număr minim de trei laturi (triunghi) și un număr maxim teoretic nelimitat (aproximarea unui cerc). Informațiile necesare din partea utilizatorului sunt definirea punctului care reprezintă centrul cercului și a distanței care semnifică raza acestuia. Valoarea unghiului descris de axa Ox din planul de vizualizare și segmentul de dreaptă imaginar care reprezintă raza cercului este un indicator de rotație ce va permite utilizatorului să rotească figura geometrică bidimensională în spațiul 2D, în jurul punctului de centru.

Este important de menționat faptul că, deși în planul de proiecție vârfurile care definesc figura geometrică sunt egal depărtate de centrul cercului (fiind plasate pe cerc), pe suprafața 3D această relație nu mai este de obicei îndeplinită. Și în acest caz, pentru a obține o transformare precisă și ușor controlabilă în spațiul tridimensional, este obligatorie respectarea condiției de poziționare a tuturor punctelor care determină segmentele de dreaptă din cadrul figurii în zone vizibile de pe suprafața adnotată.

DIFICULTĂȚI ÎNTÂMPINATE LA TRASAREA ADNOTĂRILOR GRAFICE TRIDIMENSIONALE

După cum s-a menționat pe scurt și în descrierea tehnicilor de interacțiune menționate anterior, există anumite situații în care simplitatea acestor tehnici ridică probleme de determinare a formei grafice finale a adnotării tridimensionale [15]. Cele mai semnificative dificultăți observate și soluții posibile pentru rezolvarea acestora sunt prezentate în cele ce urmează:

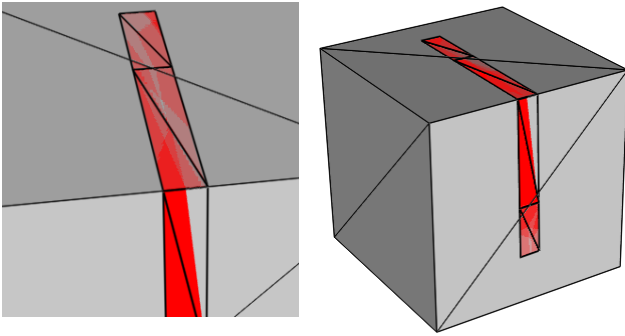


Figura 4. Afișare incorectă a adnotării grafice datorată erorilor de calcul a adâncimii

Erori în calcularea adâncimii

Conform definiției, orice adnotare grafică tridimensională A plasată pe o suprafață poligonală tridimensională S are toate elementele geometrice incluse în fețele, muchiile sau vârfurile suprafeței S . Cu toate acestea în timpul vizualizării este necesar ca reprezentarea grafică a adnotării să fie percepută ca fiind "deasupra" suprafeței, deoarece în caz contrar apar probleme de afișare similare celor prezentate în Figura 4.

Datorită includerii punctelor adnotării în cadrul fețelor suprafeței adnotate, coordonata de adâncime a acestora va fi egală cu cea a punctelor de pe suprafață. În consecință, dacă pentru trasarea zonei 3D sunt activați algoritmi de sortare pe adâncime, la momentul identificării punctelor care sunt mai apropiate de planul de vizualizare apar situații de nedefinire.

Pentru evitarea acestor situații există trei soluții posibile:

- atribuirea unei a treia dimensiuni (grosime), nedetectabilă cu ochiul liber, tuturor punctelor de pe suprafața de reprezentare a adnotării. Deoarece modelul grafic al adnotării nu este în fapt unul tridimensional, aplicația de trasare va folosi această setare numai pentru calculele de adâncime și nu va genera o suprafață triunghiularizată pentru reprezentare;
- plasarea adnotării "deasupra" suprafeței prin deplasarea punctelor adnotării în direcția normalelor la suprafață cu o distanță care nu poate fi sesizată cu ochiul liber, dar este suficientă pentru stabilirea priorității în calculele de adâncime (ex. 1^{-50});
- construirea unui model tridimensional de reprezentare a adnotării grafice (ex. sub forma unui tub)

Adnotare continuă în jurul obiectelor convexe

În general, trasarea adnotărilor grafice presupune în majoritatea cazurilor ca întreaga zonă de trasare a adnotării să fie vizibilă în totalitate, de la începutul adnotării și până la definitivarea acesteia. Am putea astfel defini o adnotare grafică printr-un simbol grafic generat în urma unei trasări neîntrerupte.

În cazul adnotărilor bidimensionale condițiile de mai sus pot fi respectate în marea majoritate a cazurilor. Spațiul disponibil trasării este de obicei vizibil în totalitate sau poate fi afișat astfel în modalități simple și intuitive pentru utilizator (ex. succesiune de pagini).

În cazul reprezentărilor 3D însă, majoritatea suprafețelor convexe reprezentate nu pot fi vizualizate în întregime în același moment. Spațiul disponibil pentru realizarea unei adnotări plasată pe o suprafață tridimensională este suprafața însăși, fapt care poate conduce la încălcarea condițiilor stipulate mai sus. Spre exemplu, trasarea unei adnotări continue care descrie linia ecuatorială a unei sfere necesită cel puțin o acțiune de re poziționare a scenei (ex. rotație) în timpul trasării adnotării.

Pentru tratarea problemelor cauzate de zonele invizibile ale suprafeței adnotate vom prezenta în continuare pe scurt trei posibile soluții:

Vizualizare simultană din mai multe unghiuri

Presupune afișarea simultană din mai multe direcții diferite a scenei de obiecte 3D astfel încât întreaga suprafață care prezintă interes să fie vizibilă în permanentă. Fiecare dintre aceste direcții poate fi reprezentată conceptual sub forma unei camere de filmare.

În funcție de complexitatea scenei de obiecte, numărul de direcții de vizualizare minim necesare pentru a asigura vizibilitatea completă a tuturor suprafețelor poate fi diferit. În cele mai multe cazuri însă, un număr de șase camere plasate staționar sub forma unui cub imaginar în jurul scenei este suficient pentru a îndeplini aceste condiții. Același obiectiv poate fi realizat și prin utilizarea unor camere poziționate dinamic în funcție de anumite constrângeri bine definite, similar soluției prezentate în [16] (ex. o cameră însoțește cursorul de adnotare și afișează în permanentă o suprafață prestabilită din jurul acesteia).

Această abordare are ca și avantaj principal apropierea conceptuală de vizibilitatea în reprezentările bidimensionale, în care spațiul de realizare al adnotării este în totalitate accesibil vizual. Cu toate acestea, o astfel de reprezentare presupune ca utilizatorul să aibă capacitatea de a supraveghea simultan mai multe ecrane virtuale, și de a identifica rapid atât părțile comune ale suprafețelor afișate cât și direcția din care se face vizualizarea într-un anumit ecran.

În același timp, utilizarea simultană a mai multor camere pentru vizualizare necesită și trasarea întregii scene de obiecte pentru fiecare cameră în parte. Astfel, în cazul scenelor de complexitate mai ridicată, resursele minime necesare pentru a asigura interacțiunea cu utilizatorul în timp real vor crește semnificativ.

Repoziționarea scenei de obiecte în timpul trasării

Această metodă de interacțiune este similară modelului de reprezentare a obiectelor din lumea reală. Ea impune ca în timpul trasării adnotării utilizatorul (sau aplicația) să re poziționeze obiectul astfel încât porțiunea următoare din suprafață să devină vizibilă. Modificarea parametrilor de vizualizare poate fi realizată fie *automat* (de către aplicație), fie *manual* (de către utilizator).

Repoziționarea automată a scenei de către aplicație poate fi realizată în moduri diferite, cum sunt:

- poziționarea camerei astfel încât direcția de vizualizare să fie în permanentă perpendiculară pe o

anumită zonă concentrică în jurul punctului curent de trasare a adnotării

- la apropierea de zonele ascunse vizualizării camera va fi rotită în jurul obiectului, în direcția curentă de trasare a adnotării

În cazul re poziționării manuale, o atenție deosebită trebuie acordată tratării acțiunilor de întrerupere și reluare a procesului de adnotare, pentru a se evita confuzia între continuarea unei adnotări deja existente și crearea unei noi. Spre exemplu, utilizatorul poate încerca să continue adnotarea după ce a re poziționat obiectul, astfel încât ultimul punct al părții deja trasate nu mai este vizibil.

Utilizarea acestor procedee de interacțiune trebuie atent implementată în cazul trasării adnotărilor de tipul "benzilor elastice". O astfel de adnotare își modifică în permanență forma între punctul de început al segmentului curent și poziția curentă a cursorului. Spre exemplu, definirea unui segment al unei linii frânțe poate fi realizată prin următoarea succesiune de acțiuni utilizator:

- apăsarea butonului din stânga al mausului (punctul inițial)
- menținerea apăsată a butonului și deplasarea mausului (definirea benzii elastice)
- eliberarea butonului (punctul final)

Dacă aplicația realizează o re poziționare automată a camerei în funcție de zona de focalizare există posibilitatea ca la momentul eliberării butonului de maus punctul inițial al segmentului împreună cu o parte a acestuia să nu mai fie vizibile. Cu toate acestea, remodelarea acestei zone se realizează la fiecare mișcare a utilizatorului în zona curent vizibilă. Astfel, la finalizarea adnotării, utilizatorul ar putea fi surprins de faptul că în prima parte trasarea inițială urma o anumită cale iar rezultatul final obținut este diferit.

Trasarea automată a adnotării

O altă soluție posibilă pentru adnotarea părților ascunse ale unei suprafețe convexe este trasarea automată a adnotării cu ajutorul unor algoritmi specifici. Deoarece suprafața adnotată nu este vizibilă în momentul trasării, controlul utilizatorului este aproape inexistent. Astfel, rezultatul obținut va fi în majoritatea cazurilor impre vizibil pentru utilizator, cu excepția situației în care detaliile tehnice despre implementarea algoritmului îi sunt familiare.

Adnotarea concavităților de pe suprafața obiectelor

Zonele concave ridică probleme similare celor cauzate de zonele din spate ale suprafețelor, dar mult particularizate și cu dificultate mai mare în identificarea de către utilizatori. Dacă în cazul suprafețelor convexe zonele invizibile sunt plasate "natural" în partea din spate în timp ce zonele vizibile sunt continue, în cazul suprafețelor concave zonele ascunse pot fi intercalate cu zonele vizibile și chiar înconjurate de acestea.

În consecință, în numeroase situații utilizatorul nu conștientizează existența concavităților și va întâmpina dificultăți neașteptate în realizarea adnotării. În cazul în care zonele concave au fost totuși corect identificate, setarea parametrilor de vizualizare astfel încât la crearea adnotării întreaga secțiune vizată a suprafeței să fie

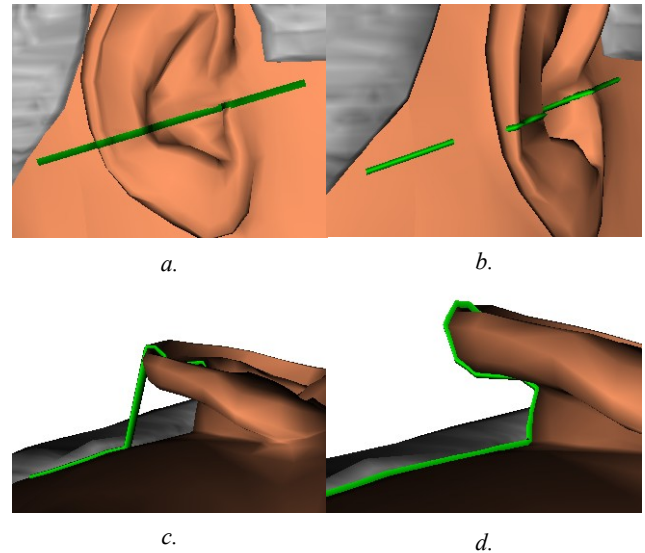


Figura 5. Modalități de adnotare a zonelor concave

vizibilă poate reprezenta o sarcină foarte dificil de realizat (uneori imposibilă).

Se poate observa astfel că există numeroase situații în care, într-o anumită poziție de vizualizare, între două părți vizibile ale aceluiași obiect se găsește o zonă invizibilă utilizatorului, după cum se poate observa și în *Figura 5.a*. Realizarea unei adnotări peste zona invizibilă într-o astfel de poziție ar putea conduce la următoarele situații:

- adnotarea este trasată continuu, peste zona invizibilă, unind cele două părți vizibile de pe suprafața obiectului printr-o linie dreaptă – în acest caz, pentru zona în discuție adnotarea nu mai urmează suprafața obiectului 3D (*Figura 5.c*), situație care nu este în conformitate cu definiția acestui tip de adnotare;
- adnotarea este trasată continuu, urmărind suprafața obiectului și în zona invizibilă și continuând apoi în a doua parte vizibilă (*Figura 5.d*) – rezultatul adnotării în zona invizibilă utilizatorului ar putea fi complet diferit față de așteptările acestuia; în cazul în care poziționarea și aspectul adnotării sunt importante pentru utilizator (ex. la rezolvarea unor exerciții) această soluție nu este aplicabilă deoarece poate cauza rezultate greu de controlat;
- adnotarea este întreruptă la marginea primei zone vizibile și apoi reluată în cea de a doua zonă (*Figura 5.b*) – utilizatorul are un control mai bun asupra trasării adnotării dar, în situațiile în care este necesară crearea unei adnotări continue (ex. la definirea unui contur închis pe suprafața obiectului) această soluție nu poate fi aplicată. O altă problemă a acestei metode de trasare este crearea implicită a două (sau mai multe) adnotări distincte prin intermediul unei singure trasări, fapt care poate crea neplăceri utilizatorului;
- procesul de trasare a adnotării este oprit la marginea primei zone vizibile (adnotarea curentă nu mai poate fi continuată) – rezolvă problema creării multiplelor adnotări prin intermediul unei singure trasări, dar nu poate fi aplicată în cazul definirii unor adnotări continue.

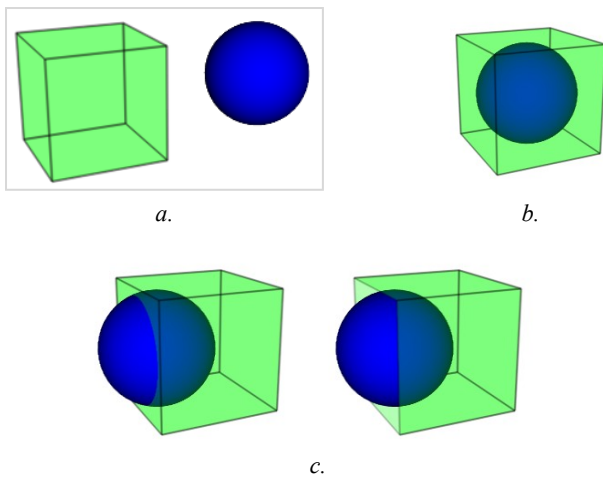


Figura 6. Poziționarea relativă a două obiecte în spațiul tridimensional. a. disjuncție, b. incluziune, c. intersecție

Soluțiile de re poziționare a camerelor de vizualizare prezentate în cazul zonelor invizibile a suprafețelor convexe pot fi, în cea mai mare parte, adaptate și în situațiile zonelor concave. Există însă numeroase cazuri în care re poziționarea camerei pentru afișarea suprafeței nu poate fi îndeplinită din cauza dimensiunilor reduse ale concavității, care vor determina interpunerea altor secțiuni ale suprafeței în fața camerei.

Scene de obiecte descrise prin mai multe suprafețe distincte

În cadrul modelărilor de complexitate ridicată apare adesea necesitatea utilizării unor suprafețe independente, pentru îmbunătățirea procesului de texturare și pentru o modelare mai detaliată a anumitor secțiuni. De asemenea, în compoziția scenelor de obiecte pot fi cuprinse numeroase elemente modelate separat și care sunt independente din puncte de vedere geometric. În funcție de poziționarea în spațiul tridimensional, între oricare două obiecte 3D se pot stabili următoarele relaționări spațiale (vezi Figura 6):

Disjuncție: cele două elemente sunt complet independente, plasate în spațiul tridimensional. În funcție de distanța minimă dintre suprafețele lor există posibilitatea ca anumite zone de pe suprafața unuia dintre obiecte să nu poată fi totuși vizualizate din nici o direcție, din cauza interpunerii celui alt obiect.

Incluziune: denumește o relație de intersecție în care volumul unuia dintre cele două obiecte este în totalitate cuprins în volumul celui de al doilea, iar suprafețele lor nu se intersectează.

Intersecție: poate presupune intersecția numai la nivel de volum, numai la nivel de suprafață sau la ambele niveluri. Spre exemplu, în cadrul unei scene 3D care reprezintă o minge într-o cutie, astfel încât cele două obiecte să fie distinct modelate, este posibilă poziționarea elementelor astfel încât volumele lor să se intersecteze, suprafețele să nu se intersecteze și, în același timp, mingea să nu fie inclusă în totalitate în volumul cutiei (Figura 6.c). O condiție necesară pentru acest caz particular este ca volumul obiectului exterior să fie reprezentat printr-o

suprafață deschisă (ec. una dintre laturile cutiei să lipsească).

Astfel, în urma compoziției scenelor 3D pot fi generate diferite zone de invizibilitate a suprafețelor care modelează obiectele componente. Problemele care apar la adnotarea unei suprafețe fără ca aceasta să fie vizibilă au fost deja discutate pe larg în secțiunile anterioare.

Noi situații problematice de interacțiune și reprezentare sunt generate însă de cazurile în care vizibilitatea parțială a unor suprafețe este datorată intersecției cu alte obiecte sau anumite secțiuni dintr-o suprafață. Deoarece modificarea parametrilor de vizualizare nu reprezintă o soluție a acestor probleme decât în cazuri excepționale, este necesară definirea unor mecanisme specializate de interacțiune care să permită ascunderea temporară a anumitor suprafețe din scena de obiecte.

Intersecția suprafețelor nu ridică probleme numai la definirea adnotărilor grafice tridimensionale. Și în cazul vizualizării acestora, reprezentările adnotărilor pot fi parțial sau total obturate de diferite alte suprafețe din cadrul scenei, necesitând alte modalități de informare a utilizatorului asupra existenței și poziționării lor.

CONCLUZII

Prin intermediul tehnicilor de interacțiune prezentate în cadrul acestui articol utilizatori fără cunoștințe tehnice pot trasa simplu și eficient adnotări grafice tridimensionale plasate pe suprafețe 3D, utilizând dispozitive cum sunt mouse-ul sau creionul grafic. Prin acțiuni realizate în planul de vizualizare utilizatorul poate descrie forme geometrice bidimensionale care sunt apoi transformate în forme grafice tridimensionale prin intermediul unor algoritmi specifici.

Alături de simplitatea și naturațea acestor tehnici de interacțiune, abordarea prezentată implică și anumite dificultăți de implementare care au fost de asemenea discutate în detaliu, împreună cu posibile modalități de rezolvare.

În vederea validării acestor tehnici de interacțiune în viitor activitatea de cercetare va fi orientată atât înspre îmbunătățirea algoritmilor existenți și dezvoltarea de noi algoritmi de transformare a adnotărilor cât și înspre realizarea de teste de utilizabilitate specifice.

REFERINȚE

1. Dorian Gorgan, Teodor Ștefănuț, Mădălina Vereș, Istvan Gabos, "Tehnici de adnotare grafică în 3D în aplicațiile de e-learning interactive", Revista Română de Interacțiune Om-Calculator, Vol.1, Nr.1, 2008, ISSN 1843-4460, pp. 1-24
2. Robert McNeel & Associates, Rhinoceros: Modeling tools for designer, <http://www.rhino3d.com/>
3. Autodesk, 3D Design & Engineering Software for Architecture, Manufacturing, and Entertainment, <http://usa.autodesk.com/>
4. Adobe Corporation, Image editor software | Adobe Photoshop CS6, <http://www.adobe.com/products/photoshop/photoshop/>
5. Autodesk, AutoCAD 2013 - 3D CAD Design Software, <http://usa.autodesk.com/autocad/>

6. Microsoft Corporation, Mark up a document with ink annotations - Word - Office.com, <http://office.microsoft.com/en-us/word-help/mark-up-a-document-with-ink-annotations-HP001033697.aspx>
7. Adobe Corporation, Adobe Acrobat X Pro - Annotations and drawing markup tools overview, http://help.adobe.com/en_US/acrobat/X/pro/using/WS58a04a822e3e50102bd615109794195ff-7e7f.w.html
8. Jingwei Shen, Yongning Wen, Yongjun Wang, Min Chen, Hongjun Su. "On point feature automatic annotation placement in 3D Environment", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B2. Beijing 2008, pp. 981- 984
9. Chris Hand. "A Survey of 3D Interaction Techniques", Computer graphics forum 1997, volum 016, nr. 005 pp. 269–281
10. Karim Osman, Francois Malric, Shervin Shirmohammadi. "A 3D Annotation Interface Using the DIVINE Visual Display", HAVE'2006 - IEEE International Workshop on Haptic Audio Visual Environments and their Applications, Ottawa, Canada 4-5 November 2006
11. Daniel F. Keefe, Daniel Acevedo Feliz, Tomer Moscovich, David H. Laidlaw, Joseph J. LaViola Jr. "CavePainting: A Fully Immersive 3D Artistic Medium and Interactive Experience", I3D '01 Proceedings of the 2001 symposium on Interactive 3D graphics, pp. 85-93, ISBN:1-58113-292-1
12. Patrick L Hartling, Allen D Bierbaum, Carolina Cruz-Neira. "Tweek: Merging 2D and 3D Interaction in Immersive Environments", 6th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI 2002), 2002
13. Robert Zeleznik. "Sketching in 3D", ACM SIGGRAPH Computer Graphics, Volume 32 Issue 4, pp. 45 – 49, Nov. 1998
14. Thomas Jung, Mark D. Gross, Ellen Yi-Luen Do. "Annotating and Sketching on 3D Web models", IUI '02 Proceedings of the 7th international conference on Intelligent user interfaces, 2002, pp. 95-102, ISBN:1-58113-459-2
15. Răzvan Boitor, Dorian Gorgan. "Adnotare cu creion grafic pe obiecte 3D", Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 2007
16. William H. Bares, James C. Lester. "Intelligent multi-shot visualization interfaces for dynamic 3D worlds", Association for Computing Machinery, pp. 119-126, 1999.