

# Revista Română de Interacțiune Om - Calculator

**Volumul 1 (2008) Nr. 1**

ISSN 1843-4460

---

Tehnici de adnotare grafică în 3D în aplicațiile de e-learning interactive. <i>Dorian Gorgan, Teodor Ștefănuț, Mădălina Vereș, Istvan Gabos</i>	1 - 24
Starea de flux: implicații în utilizarea noilor tehnologii. <i>Ana Maria Marhan</i>	25 - 38
Evaluarea utilizabilității unui scenariu de învățare a biologiei implementat pe o platformă de realitate îmbogățită. <i>Costin Pribeanu, Dragoș Daniel Iordache, Alexandru Balog</i>	39 - 56
Algoritmi de generare de paronime pentru corectarea malapropismelor. <i>Costin-Gabriel Chiru, Ștefan Trăușan-Matu, Traian Rebedea</i>	57 - 72
Abordări în evaluare automată a utilizabilității. Studiu comparativ. <i>Adriana-Mihaela Guran, Grigoreta Sofia Cojocar</i>	73 - 84

---

# Revista Română de Interacțiune Om-Calculator

Revistă editată de RoCHI (ACM SIGCHI Romania)



## Redactori șefi

Sabin-Corneliu Buraga, *Universitatea A.I.Cuza, Iași*, Costin Pribeanu, *ICI București*

## Comitetul editorial

Constantin-Gelu Apostol, *ASE București*, Alexandru Balog, *ICI București*, Mihaela Brut, *Universitatea A.I.Cuza, Iași*, Cristina Chisăliță, *Twente Universiteit*, Dorian Gorgan, *Universitatea Tehnică Cluj-Napoca*, Adriana-Mihaela Guran, *Universitatea Babeș-Bolyai Cluj-Napoca*, Gheorghe Iosif, *Institutul de Filosofie și Psihologie al Academiei Române*, Ion Juvină, *Carnegie Mellon University*, Ana-Maria Marhan, *Institutul de Filosofie și Psihologie al Academiei Române*, Adrian Mihalache, *Universitatea Politehnică București*, Ioana Moisil, *Universitatea Lucian Blaga Sibiu*, Ioan Neacșu, *Universitatea din București*, Horia Pitariu, *Universitatea Babeș-Bolyai Cluj-Napoca*, Dorin-Mircea Popovici, *Universitatea Ovidius Constanța*, Ștefan Trăușan-Matu, *Universitatea Politehnică București*, Dan-Ioan Tufiș, *Institutul de Cercetări în Inteligență Artificială București*, Jean Vanderdonckt, *Universite Catholique de Louvain*

ISSN 1843-4460

Revistă publicată de © MATRIX ROM

C.P. 16-162

062510 – BUCUREȘTI

Tel. 021 4113617 Fax. 021 4114280

e-mail: [office@matrixrom.ro](mailto:office@matrixrom.ro)

# Tehnici de adnotare grafică 3D în aplicațiile eLearning interactive

Dorian Gorgan, Teodor Ștefanuț, Mădălina Vereș, Istvan Gabos

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

C. Daicoviciu, Nr. 15, 400020, Cluj-Napoca

*E-mail: dorian.gorgan@cs.utcluj.ro, teodor.stefanut@cs.utcluj.ro,*

**Rezumat.** Spre deosebire de interfețele utilizator bazate pe controale clasice (butoane opțiune, casete opțiune etc), adnotarea grafică propune un alt tip de tehnici de interacțiune care permit forme de exprimare mai libere, prin care se evidențiază creativitatea, abilitatea manuală, imaginația artistică a utilizatorului. Adnotarea grafică direct pe suprafața obiectelor eLearning 3D impune dezvoltarea unor noi algoritmi de grafică, modele de adnotare și tehnici de interacțiune. Acest articol prezintă experimentele realizate în mediul eLearning eTrace privind posibilitatea utilizării adnotării grafice 3D în contextul lecțiilor eLearning. Cercetarea are ca subiecte principale definirea unui model grafic al adnotării 3D care să permită evaluarea automată, prelucrarea specifică a adnotărilor în contextul unei lecții, tehnicile de interacțiune prin care se poate desena, descrie și vizualiza adnotarea. Sunt abordate soluții practice pentru toți pașii prin care profesorul descrie constrângerile referitoare la adnotare, prin care sistemul înregistrează în structura unei lecții aceste specificații, prin care utilizatorul realizează răspunsurile grafice bazate pe adnotare, prin care se cuantifică și calculează nota finală. Această lucrare evidențiază în special primul din pașii enumerați și anume, descrierea modelului de adnotare grafică 3D. Cercetarea deschide noi posibilități pentru evaluarea cunoștințelor bazată pe adnotarea grafică, în aplicațiile eLearning, față de bine cunoscutele teste grilă.

**Cuvinte cheie:** tehnici de interacțiune, adnotare grafică 3D, aplicații interactive, eLearning.

## Introducere

Majoritatea aplicațiilor de educație la distanță actuale folosesc tehnici de interacțiune bazate pe text pentru analiza materialului didactic prezentat în diverse forme: text, imagini, video, scene de obiecte 3D etc. Formularele, care sunt colecții de controale din interfața utilizator cum ar fi liste, butoane, casete opțiune, sau meniuri, sunt folosite frecvent în aplicațiile eLearning cu scopul de a introduce date și a defini constrângerile asupra acestor date. În multe cazuri aceste tehnici de interacțiune sunt suficiente și foarte eficiente, însă au multe limitări în cazul în care materialele de analizat sunt imagini

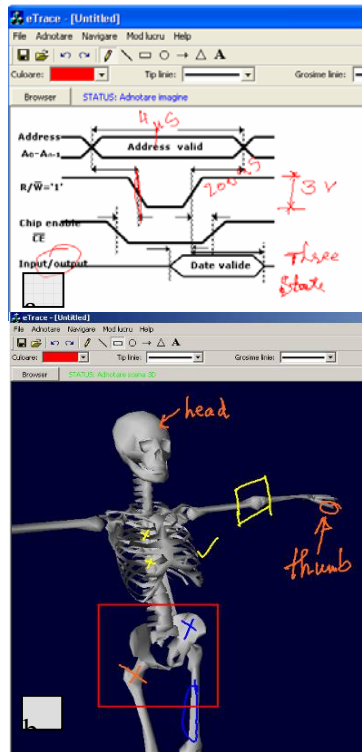


Figura 1. (a) Adnotări grafice 2D realizate pe un document 2D (2/2D) și (b) Adnotări grafice 2D realizate pentru un obiect 3D (2/3D), (imagini obținute în aplicația eTrace).

sau diferite reprezentări grafice ale obiectelor 2D sau 3D. Un alt mare dezavantaj și risc al comunicării bazate exclusiv pe text sau voce, este rata mare de erori de comunicare datorată descrierilor incomplete și imprecise realizate uneori sub presiunea timpului (ex. testarea on-line) sau într-o limbă străină, din punct de vedere al utilizatorului, conform specificațiilor de pe situl Moodle.

Prin impunerea unui număr redus de constrângeri în comparație cu formularele sau alte tehnici de interacțiune folosite frecvent în interfețele utilizator (ex. meniuri, întrebări cu multiple variante de răspuns, butoane opțiune, căsuțe text etc.), adnotarea permite utilizatorului să se concentreze mai mult asupra activităților de îndeplinire a sarcinii decât asupra metodelor și dispozitivelor de interacțiune folosite și, în același timp, să își exprime cunoștințele într-o modalitate personală. Astfel, adnotarea se dovedește a fi o tehnică de interacțiune foarte eficientă. Activitatea noastră de cercetare a fost îndreptată în principal către crearea de noi

metode de interacțiune, dezvoltarea de noi unelte pentru utilizarea tehnicilor de interacțiune prin adnotare pe diferite formate de documente, implementarea unor noi algoritmi pentru codificarea, gestiunea și evaluarea automată a adnotării grafice, dezvoltarea unor noi modele de lecții în domeniul eLearning precum și către realizarea de teste de utilizabilitate pentru a putea stabili cât mai precis cerințele tehnice minimale necesare pentru a realiza interfețe utilizator bazate pe tehnicile de interacțiune prin adnotare grafică. Adnotarea poate reprezenta un factor important în rezolvarea problemelor deoarece prin folosirea acesteia utilizatorul are posibilitatea de a fi creativ, de a-și concepe propriile răspunsuri și de a

implementa o abordare personală asupra problemelor însă, în același timp, există o dificultate majoră în ceea ce privește evaluarea răspunsurilor primite sub forma adnotărilor grafice.

În cadrul acestui articol va fi prezentată o clasificare a tipurilor de adnotări, tehnici și modele care sunt necesare pentru a implementa teste de evaluare a cunoștințelor utilizând adnotările grafice, pe scene de obiecte 3D (Figura 1). În crearea acestor modele de adnotări principalul scop a fost minimizarea restricțiilor impuse utilizatorilor în crearea adnotărilor, pentru a nu împiedica libera exprimare a acestora și, în același timp, realizarea unor modele care să permită o evaluare completă și corectă a răspunsurilor conform specificațiilor din (Gorgan et al, 2008). În cadrul acestei lucrări vom prezenta un exemplu detaliat care va descrie modalitățile de definire a constrângerilor ce sunt necesare pentru a realiza evaluarea automată a adnotărilor grafice.

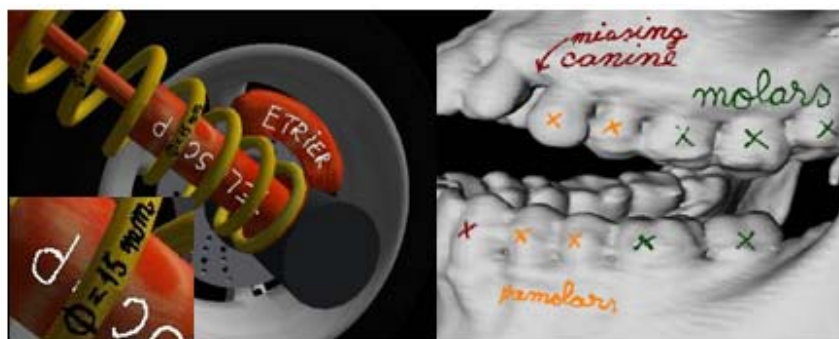


Figura 2. Adnotări grafice plasate direct pe suprafața obiectelor 3D, realizate în cadrul aplicației eTrace

Lucrarea este structurată astfel: Secțiunea 2 prezintă rezultate ale altor colective de cercetare în domeniul adnotărilor grafice plasate în scenele de obiecte 3D. Secțiunea 3 descrie platforma eLearning eTrace cu ajutorul căreia s-au realizat experimentele descrise în cadrul acestei lucrări. Secțiunea 4 prezintă pe scurt principalele metode de evaluare a adnotărilor plasate pe suprafața obiectelor 3D, în timp ce Secțiunea 5 descrie conceptele de bază ale definirii modelului de evaluare. Secțiunile 6 și 7 vor prezenta un exemplu detaliat de creare a unui exercițiu care va permite evaluarea cunoștințelor pe baza răspunsurilor obținute prin intermediul adnotării grafice iar Secțiunea 8 va descrie pe scurt principalele concluzii.

## Rezultate similare în domeniu

Până în prezent, cercetătorii au dezvoltat numeroase aplicații cu interfețe utilizator bazate pe adnotare grafică, în diferite domenii, cum sunt: modelarea suprafețelor 3D (Kara et al, 2006 și Masry et al, 2005), predarea chimiei (Tenneson, 2007), a matematicii (Zelevnik et al, 2007), a muzicii (Forsberg, 1998) etc., dovedind astfel că interacțiunea cu creionul grafic este mult mai naturală, precisă și eficientă decât metodele clasice. Toate aceste realizări pot fi dezvoltate în continuare și integrate în aplicațiile eLearning, oferind profesorilor posibilitatea de a utiliza aceste tehnici în cadrul învățământului la distanță.

În lucrările publicate de (Jung et al, 2002), (Goddard și Sunderam, 1999) și (Daily et al, 2000) sunt prezentate proiecte care utilizează adnotarea 3D în sesiuni de lucru colaborative pe Internet, fiind menționate și principalele avantaje oferite de utilizarea acestui tip de comunicație: prin comparație cu comunicarea bazată pe text, adnotarea oferă posibilitatea transmiterii unor informații și forme grafice complexe într-o manieră naturală și facilă și previne în același timp apariția a numeroase erori de comunicare fără un efort suplimentar din partea utilizatorului (ex. erori de scriere, de exprimare într-o limbă străină etc.).

Deși toate aplicațiile prezentate mai sus pun la dispoziția utilizatorilor o largă varietate de unelte pentru desenare, înregistrare, gestiune și afișare a adnotărilor grafice, niciuna dintre ele nu are abilitatea de a realiza evaluarea automată a acestora. Din acest motiv, una dintre principalele noastre preocupări vizează semnificația adnotărilor în contextul evaluării cunoștințelor în cadrul aplicațiilor eLearning.

## Platforma eLearning eTrace

Aplicația eTrace a fost dezvoltată ca o platformă eLearning având ca principală tehnică de interacțiune cu utilizatorul adnotarea grafică, prezentată mai pe larg în (Gorgan et al, 2008) și (Ștefănuț și Gorgan, 2008). În realizarea aplicației eTrace s-a concretizat dezvoltarea unor noi metode și unelte de interacțiune, implementarea unor tehnici inovative de codificare și gestiune a adnotării, precum și realizarea unor teste de utilizabilitate ale căror rezultate au fost folosite pentru determinarea cerințelor tehnice minime necesare pentru realizarea unor interfețe bazate pe adnotarea

grafică. Această lucrare descrie cerințele minime stabilite, soluțiile și experimentele noastre în legătură cu evaluarea automată a adnotărilor grafice 3D în procesul general de evaluare a cunoștințelor.

eTrace implementează la nivel de bază funcționalitățile necesare gestionării și modelării resurselor necesare învățării, oferind profesorilor o modalitate foarte simplă de a include în cadrul platformei lecții în format HTML, punând apoi la dispoziția acestora tehnicile sale de interacțiune prin intermediul adnotărilor grafice. eTrace este o aplicație realizată pe baza arhitecturii client-server și acceptă ca resurse media în cadrul lecțiilor: imagini, sunete, prezentări Flash, fișiere video, scene de obiecte 3D etc.

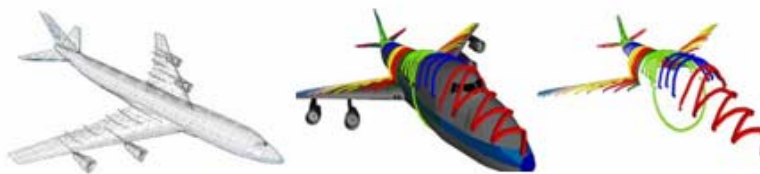


Figura 3. eTrace - obiectul 3D este un model poligonal. Adnotarea grafică devine o entitate distinctă în spațiul virtual.

### 3.1 Adnotările grafice în eTrace

În cadrul platformei eTrace sunt utilizate două criterii principale pentru clasificarea adnotărilor grafice: *spațiul document* (sau *obiect*) și *spațiul adnotare*. Reprezentarea documentului (a obiectului) poate fi realizată în spațiul 2D (ex. imagini, text, documente în diferite formate: doc, pdf, html etc.) sau ca obiect într-un spațiu virtual 3D. Similar, adnotarea asociată documentului poate fi reprezentată în spațiul 2D sau 3D.



Figura 4. eTrace – exemplificarea algoritmului de determinare a suprafeței selectate: a) numai poligoanele complet incluse în zona selectată; b) poligoanele parțial incluse în zona selectată; c) noua reprezentare poligonală pentru zona selectată.

Din punct de vedere conceptual, adnotarea 2D este realizată într-un plan.

În cazul documentelor și obiectelor 2D acesta este reprezentat de o fereastră transparentă plasată peste suprafața resurselor adnotate (Figura 1a). În cazul obiectelor 3D, adnotarea 2D se realizează pe un plan de proiecție care poate fi deplasat în jurul scenei de obiecte (Figura 1b).



Figura 5. Adnotarea unei suprafețe cu o imagine dată și modificarea formei zonei selectate, utilizând unelte din cadrul aplicației eTrace

Adnotarea grafică 3D este realizată în interiorul spațiului virtual și plasată direct pe suprafața obiectului 3D adnotat (vezi Figurile 2, 3 și 6). Principalele tipuri de adnotări 3D ce pot fi realizate în cadrul eTrace sunt:

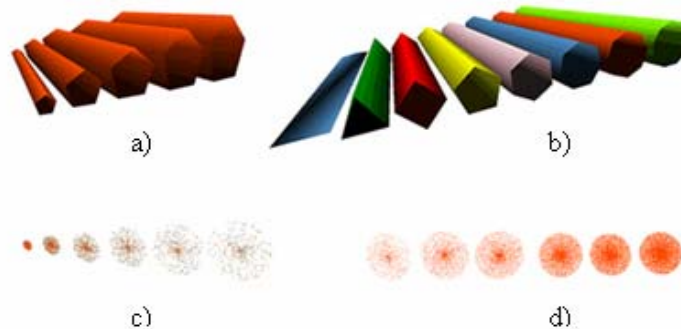


Figura 6. eTrace - adnotări grafice 3D realizate cu unelte și atribute diferite: a) pensulă de diferite dimensiuni; b) diferite tipuri de pensule; c) adnotare de tip spray de diferite dimensiuni; d) adnotare de tip spray de diferite densități

**Acoperirea unei suprafețe cu o imagine dată** – permite utilizatorului selectarea, cu ajutorul creionului grafic, a unei anumite zone de pe suprafața obiectului, pe care va fi aplicată imaginea aleasă (Figura 4). Inițial dreptunghiulară, forma zonei selectate poate fi ulterior modificată prin



deplasarea independentă a celor patru colțuri ce o definesc, pe suprafața obiectului (Figura 5).

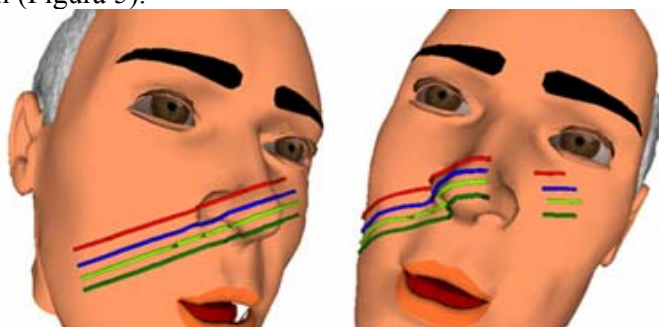


Figura 7. Unirea a două puncte numai pe suprafața vizibilă a obiectului: a) poziția de trasare a adnotării; b) vizualizarea modului de trasare

Una dintre principalele dificultăți care intervin în realizarea acestei adnotări este modalitatea de selectare a poligoanelor de pe suprafața obiectului care vor fi cuprinse în zona selectată. După cum se poate observa în Imaginea 4, reprezentarea poligonală a obiectului nu permite încadrarea perfectă a suprafețelor într-o zonă de formă regulată (pătrat, dreptunghi etc.) ceea ce conduce la necesitatea generării unor puncte suplimentare și partajării corespunzătoare a suprafețelor existente.

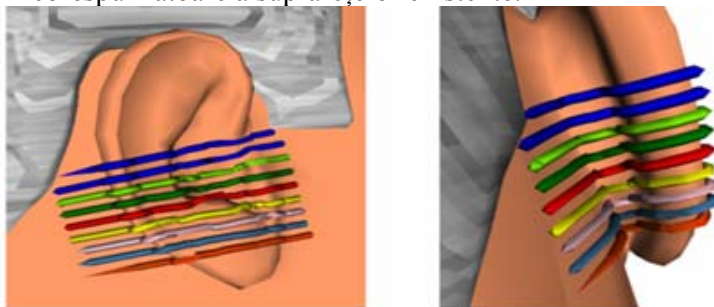


Figura 8. Unirea a două puncte indiferent de vizibilitatea suprafeței intermediare: a) poziția de trasare a adnotării; b) vizualizarea modului de trasare

Acest tip de adnotare se dovedește a fi foarte utilă în cadrul sesiunilor de prezentare în care profesorul are posibilitatea de a aplica pe diferite părți ale obiectului 3D imagini ce pot reprezenta materiale diferite (lemn, metal, sticlă etc.) sau, în cazul lecțiilor din domeniul medical, diferite afecțiuni. Un caz particular al acestui tip de adnotare este aplicarea dinamică de etichete pe suprafața obiectului, prin generarea automată a unui fișier imagine cu

reprezentarea informațiilor text introduse de la tastatură.

**Adnotarea cu bandă elastică** permite realizarea de adnotări prin unirea automată pe suprafața obiectului a două puncte succesiv indicate de către utilizator prin intermediul creionului grafic. Unirea punctelor poate fi realizată cu adnotări 3D caracterizate prin diferite atribute (Figura 6a și 6b) și prin utilizarea a doi algoritmi asemănători dar cu rezultate diferite:

*Unirea a două puncte numai pe suprafața conexă vizibilă a obiectului* – presupune trasarea liniei intermediare numai pe partea vizibilă din suprafața conexă a obiectului. În cazul în care între cele două puncte selectate există în momentul realizării adnotării o parte a suprafeței plasată într-o concavitate, adică invizibilă utilizatorului, linia trasată va fi întreruptă și se va relua pe porțiunea vizibilă (Figura 7). În acest fel, utilizatorul are posibilitatea de a controla adnotarea trasată astfel încât să evite marcarea unor zone nedorite, care nu au vizibilitate.

*Unirea a două puncte pe suprafața conexă a obiectului* – indiferent dacă aceasta este vizibilă sau nu, presupune generarea automată a unei linii intermediare ce va fi trasată și pe zonele concave din suprafața obiectului, care sunt invizibile utilizatorului la momentul creării adnotării (Figura 8). Acest tip de adnotare are o utilitate deosebită în definirea modelului de evaluare al adnotării, descris mai jos, pentru care profesorul poate selecta anumite zone de interes de pe suprafața obiectului numai prin intermediul unui contur închis. Prin generarea unei linii neîntrerupte între două puncte consecutive, acest algoritm permite trasarea cu ușurință a conturilor cerute pe suprafețele denivelate ale obiectelor.

**Adnotarea realizată cu mâna liberă** permite utilizatorului să traseze semne grafice pe suprafața unui obiect într-un mod asemănător cu desenarea unei schițe pe hârtie. În realizarea acestui tip de adnotare utilizatorul poate folosi oricare dintre atributele adnotărilor grafice prezentate în Figura 6: culoare, mărime, profil 3D, formă și densitate, folosindu-și astfel creativitatea în prezentarea răspunsurilor. Cu ajutorul adnotării cu mâna liberă, utilizatorul poate să adauge pe suprafața obiectului notițe proprii scrise de mână sau, cu ajutorul uneltei de tip spray, să atragă atenția asupra unor modificări minore (adnotare cu densitate redusă), majore (adnotare cu densitate ridicată) sau progresive (densitate variabilă) ce pot surveni în anumite zone ale obiectului.

Toate tipurile de adnotări prezentate mai sus, deși sunt corelate cu suprafața obiectului, sunt reprezentate în cadrul scenei de obiecte ca și

elemente separate, a căror semnificație s-ar putea pierde însă în cazul apariției unei desincronizări cu obiectul adnotat (Figurile 3 și 9).

### 3.2 Dezvoltarea lecțiilor în eTrace

Principalii utilizatori în cazul lecțiilor eTrace sunt profesorul și elevii. Profesorul creează materialele informative, iar elevii accesează și vizualizează aceste materiale. Fiecare lecție este alcătuită din două părți principale: partea de prezentare a noțiunilor și partea de evaluare. În ambele secțiuni atât profesorul cât și elevii pot să realizeze orice tip de adnotare grafică (2/2D, 2/3D, și 3/3D) în funcție de tipul resursei adnotate. Fiecare dintre adnotările realizate este identificată prin numărul unic al resursei, utilizatorul care a creat adnotarea și sesiunea de lucru în care aceasta a fost trasată, fiind salvată pe server și disponibilă pentru vizualizare sau editare în sesiuni de lucru ulterioare (Figurile 3 și 4).

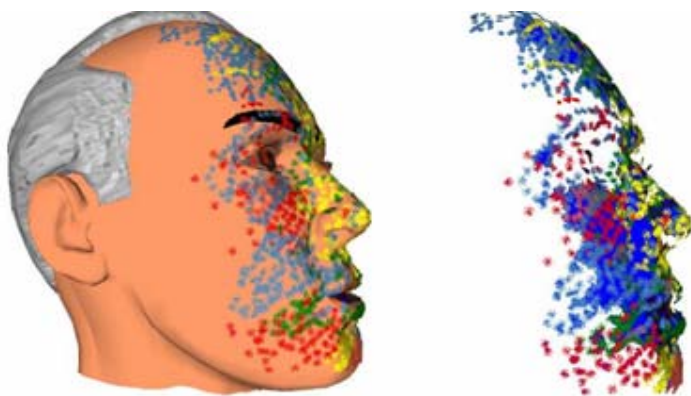


Figura 9. Adnotarea grafică devine o entitate distinctă în spațiul virtual.

După cum s-a menționat anterior, unul dintre principalele obiective ale activității de cercetare prezentată în cadrul acestei lucrări este de a realiza diferite experimente asupra evaluării cunoștințelor prin interacțiune centrată pe adnotarea grafică. În fapt profesorul include în cadrul lecției anumite exerciții ale căror răspunsuri vor fi date de către elevi sub forma unor adnotări grafice. Sistemul înregistrează forma grafică a răspunsului trasat de către elev și calculează nota acestuia prin evaluarea adnotării înregistrate. Pentru a permite sistemului să efectueze în mod corect evaluarea automată a acestor răspunsuri, profesorul trebuie să includă în structura lecției toate

informațiile care îi sunt necesare aplicației pentru îndeplinirea acestei sarcini la momentul vizualizării lecției.

Rezultatele cercetării vizează să răspundă următoarelor întrebări: care este modelul conceptual corect pentru adnotările grafice 2D și 3D astfel încât acestea să permită evaluarea automată? Care este cea mai bună modalitate prin care profesorul poate descrie, într-o manieră interactivă, modelul de adnotare? Care sunt algoritmi grafici necesari pentru a oferi utilizatorului posibilitatea de a realiza adnotări grafice pe suprafețele obiectelor 3D? Cum sunt descrise, îmbinate și aplicate constrângerile de ordin grafic și spațial? Cum poate fi cuantificată calitatea adnotării în cadrul unui context specific? Cum poate fi transformat un set complex de constrângeri într-o valoare numerică, care va reprezenta nota primită de către elev pentru răspunsul dat?

#### **4. Metode de evaluare a cunoștințelor centrate pe adnotarea grafică realizată pe suprafața obiectelor 3D**

Evaluarea răspunsului înregistrat prin intermediul adnotării poate fi realizată vizual de către profesor, în cazul în care numărul de teste ce trebuie evaluate în acest mod nu este foarte mare. Luând în considerare faptul că în cadrul sistemelor eLearning, numărul utilizatorilor înscriși la cursuri și care vor efectua testele menționate poate să se ridice la câteva mii, evaluarea vizuală a răspunsurilor nu reprezintă o soluție viabilă. Astfel, eforturile noastre au fost îndreptate către studierea diferitelor tehnici și algoritmi necesari pentru a putea pune la dispoziția utilizatorilor platformei eTrace, descrisă pe larg în (Ștefănuț și Gorgan, 2008), o modalitate de evaluare automată a răspunsurilor codificate prin adnotare grafică.

Profesorul și elevii pot utiliza adnotarea pentru a comunica informații adiționale materialelor didactice integrate în corpul lecției. În cadrul unei prezentări pasive a lecției, profesorul are posibilitatea de a face adnotări statice care sunt apoi integrate în contextul lecției și vor putea fi ulterior vizualizate de către elevi fără alte intervenții din partea acestuia. În sesiunile de lucru interactive adnotările pot fi realizate atât de profesor cât și de către elevii participanți cu scopul de a îmbunătăți comunicarea prin interschimbarea unor informații complexe într-o modalitate simplă și naturală.

În cadrul sesiunilor de lucru individuale elevii pot utiliza adnotările

grafice pentru a analiza materialele didactice puse la dispoziție de către profesor și pentru a-și lua notițe grafice personale. Acest tip de adnotări sunt salvate separat în cadrul platformei eTrace, deoarece ele nu fac parte din conținutul lecției, iar accesul la acestea este permis numai utilizatorului care le-a creat. Un caz particular de acces permite profesorului să vizualizeze aceste adnotări grafice pentru o mai bună evaluare a cunoștințelor.

În cadrul prezentărilor pasive sau a sesiunilor de lucru on-line și individuale, utilizatorii – atât profesorul cât și studenții – pot realiza orice fel de adnotări grafice. În cazul adnotărilor realizate pentru a fi evaluate (ex. sesiunile de testare a cunoștințelor) utilizatorii trebuie să respecte anumite restricții care sunt necesare pentru a reduce sau chiar elimina erorile de calcul ce pot să apară și pentru a asigura o evaluare corectă și uniformă a răspunsurilor. În cadrul acestei lucrări vom prezenta următoarele tipuri de adnotări realizate pe suprafața obiectelor 3D și care îndeplinesc constrângerile impuse de evaluarea automată: *curbă continuă*, *curbă întreruptă*, *poli-linie*, și *desen cu mâna liberă*, prezentate detaliat în Gorgan et al, 2008.

Evaluarea adnotării depinde într-o mare măsură și de contextul în care aceasta a fost realizată. Astfel, este obligatorie luarea în considerare a scopului și a semnificației adnotării. Elevii pot utiliza adnotarea pentru a desena diferite semne grafice (ex. semne de întrebare, text scris de mână etc.) sau pentru a evidenția un anumit element (ex. evidențiere prin linie, cercuri, dreptunghiuri etc.). Semnificațiile a două adnotări identice plasate în contexte diferite pot fi, de asemenea, foarte diferite. Sistemul trebuie să știe cum anume trebuie să interpreteze adnotarea în cadrul procesului automat de evaluare, care sunt caracteristicile ce urmează a fi evaluate, care sunt și cum pot fi măsurate diferitele atribute astfel încât rezultatele acestor măsurători să fie transformate la final într-o valoare numerică. În fapt, sistemul trebuie să aibă abilitatea de a determina calitatea răspunsului în urma unor măsurători cantitative realizate într-un context specific.

Există trei etape principale în realizarea acestui obiectiv:

- a) *Definirea modelului de evaluare a adnotării* – prin intermediul căruia profesorul va furniza sistemului toate informațiile necesare evaluării automate a cunoștințelor în contextul lecției;
- b) *Evaluarea adnotării în timp real la momentul execuției lecției* – prin utilizarea modelului de evaluare descris anterior și a adnotării realizate de către utilizator, sistemul trebuie să aibă abilitatea de a

realiza evaluarea în mod automat;

- c) *Interpretarea rezultatelor* – platforma eTrace procesează rezultatele în contextul lecției curente și stabilește calitatea răspunsului.

La crearea lecției, profesorul trebuie să descrie în cadrul modelului de evaluare toate informațiile necesare pentru a oferi sistemului posibilitatea de a realiza o evaluare completă a adnotării și o interpretare corectă a rezultatelor la momentul vizualizării lecției. În secțiunea următoare vor fi prezentate conceptele și soluțiile aflate la dispoziția profesorului pentru realizarea modelului de evaluare. Toate adnotările care nu își găsesc o descriere în cadrul acestui model vor putea fi evaluate numai vizual, de către profesor.

## **5. Descrierea modelului de evaluare**

Toate informațiile necesare sistemului pentru a putea realiza evaluarea automată a adnotării trebuie să fie puse de către profesor la dispoziția acestuia, la momentul creării exercițiului. Prima etapă în definirea modelului de evaluare este stabilirea contextului și a scopului adnotării, pentru a avea asigurarea că cerințele problemei și răspunsul așteptat vor fi corect înțelese de către elevi și evaluate de către sistem.

### **5.1 Scopul adnotării**

În contextul unei lecții adnotarea poate fi realizată pentru a desena o anumită formă grafică sau pentru a selecta vizual un anumit set de elemente. Prin desenare, elevii realizează o formă ce are o anumită semnificație în contextul lecției. Sistemul așteaptă forma pe care o desenează utilizatorul și realizează evaluarea adnotării în concordanță cu setul de constrângeri definit în modelul de evaluare, care impune dimensiunea și orientarea formei grafice. Evaluarea automată poate fi aplicată unor parametri specifici de desenare, cum sunt: profilul, timpul, direcția și succesiunea punctelor din adnotare.

### **5.2 Descrierea formei**

Unul dintre cele mai importante criterii de evaluare este forma adnotării. Profesorul trebuie să definească toate constrângerile pe care dorește să le

aplice într-o manieră care să permită aplicației evaluarea precisă a formelor grafice și determinarea cât mai exactă a formei corecte a răspunsului. În acest sens pot fi utilizate trei tehnici diferite, separat sau împreună, pentru a descrie aceste constrângeri: *contururi*, *puncte cheie* și *șabloane de formă*.

### 5.3 Constrângeri definite cu ajutorul conturilor

*Conturul* este definit prin intermediul unei poli-linii închise care este desenată pe suprafața obiectului 3D fără ridicarea creionului grafic (Figura 10). O condiție obligatorie este ca acest contur să fie închis, iar pentru respectarea acesteia aplicația va conecta în mod automat primul și ultimul punct al adnotării cu o linie ce va fi plasată tot pe suprafața obiectului. Din punct de vedere tehnic, curbele rotunde și conturul trasat cu mâna liberă sunt approximate tot prin intermediul unei linii poligonale, după cum se specifică în Gorgan et al, 2008.

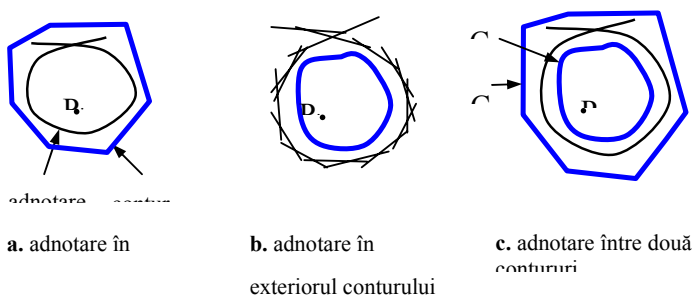


Figura 10. Definirea constrângerilor de formă cu ajutorul conturilor.

Această metodă de evaluare poate fi folosită în două moduri diferite: (a) conturul este definit de către profesor ca o constrângere ce face parte din modelul de evaluare, iar adnotările realizate de către elevi trebuie să fie plasate în interiorul sau în afara conturului; (b) conturul este considerat ca fiind răspunsul dat de către elev (ex. selecție, desenare) și trebuie să îndeplinească anumite constrângeri definite de către profesor (Figura 10). De exemplu, două contururi diferite pot fi definite ca o singură constrângere, cu scopul de a delimita o anumită zonă de pe suprafața obiectului 3D, în care trebuie să se încadreze răspunsul dat de către elev (vezi Figura 10.c unde adnotarea elevului trebuie să fie plasată în afara lui  $C_1$  și în interiorul lui  $C_2$ ).

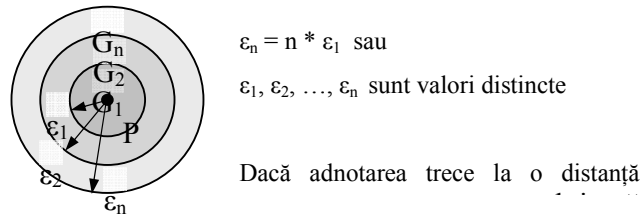


Figura 11. Descrierea unui punct cheie.

Tehnica bazată pe contur poate fi utilizată pentru a determina calitatea răspunsului prin stabilirea procentului de puncte din cadrul adnotării care îndeplinesc anumite constrângeri stabilite de către profesor (ex. localizate în interiorul/exteriorul conturului).

#### 5.4 Constrângeri definite prin puncte cheie

O altă tehnică utilizată pentru a descrie constrângeri asupra formei adnotării este definirea unui set de *puncte cheie* pe suprafața 3D a obiectului. Fiecăruia dintre aceste puncte  $i$  se pot asocia diferiți parametri care sunt utilizați mai apoi în procesul de evaluare (Figura 11).

Nota totală pentru acest criteriu este definită ca o medie ponderată a notelor obținute pentru fiecare punct cheie. Profesorul poate specifica o pondere egală pentru toate notele obținute în nota finală sau poate stabili că anumite puncte cheie sunt mai importante decât altele. Astfel, pentru fiecare punct  $P_i$  profesorul poate specifica o fracțiune de valoare  $v_i$  și poate stabili cum va fi calculată nota. De exemplu:

$$G = \frac{G_1 * v_1 + G_2 * v_2 + \dots + G_n * v_n}{v_1 + v_2 + \dots + v_n} \quad (2)$$

Metoda punctelor cheie se poate dovedi foarte utilă în definirea unor constrângeri complexe asupra preciziei, direcției adnotării și intervalelor de timp.



### 5.5 Constrângeri definite cu ajutorul șabloanelor de formă

*Șabloanele de formă* oferă profesorului posibilitatea de a-și transforma propria adnotare într-un șablon care va putea fi mai apoi utilizat ca și constrângere la evaluarea adnotărilor realizate de către elevi. Adnotarea realizată de către profesor, care reprezintă în fapt răspunsul corect al exercițiului, este procesată în mod automat de către sistem și transformată într-un *șablon* prin utilizarea anumitor parametri cum sunt valorile  $\varepsilon$  definite în cazul punctelor cheie (vezi Figura 12).

Evaluarea adnotărilor se va realiza prin compararea cu acest *șablon* iar nota va fi stabilită utilizând valorile  $\varepsilon$  definite anterior, într-un mod similar stabilirii notei pentru fiecare punct cheie.

### 5.6 Constrângeri de timp

Alături de forma adnotării, timpul reprezintă un element foarte important în evaluarea unei adnotări grafice, fiind esențial în simularea unor situații reale. În domeniul chirurgiei spre exemplu, numeroase intervenții sunt constrânse de timp sau sunt alcătuite din etape ce trebuie să fie ordonate cronologic.

Profesorul are posibilitatea de a defini o valoare temporală globală pentru evaluarea întregii adnotări sau, utilizând tehnici bazate pe constrângerile de formă, poate să își rafineze constrângerile de timp și să stabilească valori diferite pentru secțiuni diferite ale adnotării. Spre exemplu, utilizând punctele cheie, profesorul poate specifica momentul de la începerea adnotării, la care elevul trebuie să treacă prin apropierea fiecărui punct  $P_i$ , sau intervalul de timp în care elevul ar trebui să parcurgă distanța dintre două puncte cheie consecutive (Gorgan et al, 2008).

De asemenea, profesorul trebuie să includă în specificarea acestor constrângeri de timp descrierea modului de notare a adnotării. De exemplu, dacă elevul trebuie să traseze adnotarea de la  $P_A$  până la  $P_B$  în 5 secunde, constrângerile ar putea fi definite astfel:

pentru fiecare secundă de întârziere elevul va fi penalizat cu  $V$  puncte;

sau: pentru o întârziere între 1 și 3 secunde, penalizarea va fi  $V_1$ , pentru o întârziere între 3 și 5 secunde va avea valoarea  $V_2$  iar pentru o întârziere mai mare de 5 secunde nota obținută va fi 0.

Tehnicile descrise mai sus pot fi combinate de către profesor și transformate într-un mecanism foarte complex și specific de evaluare a

adnotărilor grafice. Spre exemplu, punctele cheie, contururile, și constrângerile de timp pot fi utilizate împreună pentru a descrie o incizie de mare precizie care trebuie să fie executată în mod ferm, într-o anumită locație pe suprafața organului și într-un interval de timp dat.

## **6. Tipuri de exerciții pentru evaluarea cunoștințelor prin intermediul adnotării grafice 3D**

În continuare vom prezenta câteva cazuri de evaluare a cunoștințelor în medii eLearning, care evidențiază utilizarea tehnicilor de adnotare grafică 3D în situații în care ar fi foarte dificilă utilizarea testelor de tip grilă sau a răspunsurilor bazate pe text:

### **6.1 Selecție prin contur pe suprafața obiectelor 3D (Figura 13a).**

Elevul trebuie să înțeleagă noțiunea de „zonă de interes” în contextul exercițiului pentru a putea realiza adnotarea răspuns în mod corect. Prin intermediul tehnicilor bazate pe adnotare elevul poate realiza răspunsuri de o mare varietate în corectitudine, ceea ce este imposibil de realizat în cazul testelor grilă unde poate alege dintr-un set limitat și explicit specificat de variante (ex. una din patru);

### **6.2 Selectarea unei zone de interes între două contururi pe suprafața obiectelor 3D (Figura 13a).**

Zona de interes este definită de interiorul primului contur și exteriorul celui de al doilea.

### **6.3 Desenarea în interiorul unui contur (Figura 13a).**

Răspunsul elevului trebuie să fie plasat în interiorul conturului definit de către profesor, care însă nu este vizibil elevului în momentul trasării răspunsului.

#### 6.4 Desenarea în interiorul unei zone delimitate de câteva contururi (Figura 13b).

Adnotarea răspuns trebuie să fie plasată în interiorul zonei delimitate de contururile definite de către profesor, care nu pot fi însă văzute de către elev.

#### 6.5 Desen evaluat printr-o secvență de puncte cheie (Figura 13c).

Adnotarea trebuie să treacă la o distanță cât mai mică față de un set de puncte cheie.

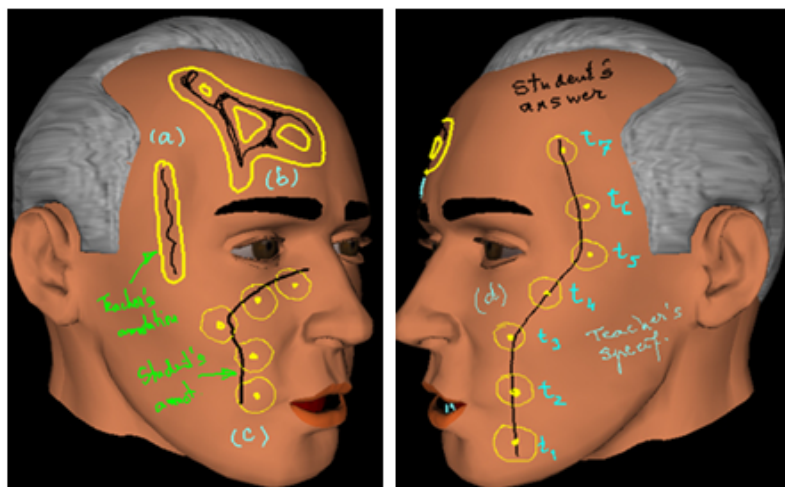


Figura 13. Imagine eTrace - Evaluarea adnotării grafice realizată pe suprafața obiectelor eLearning 3D prin intermediul: (a) unui singur contur; (b) mai multor contururi; (c) unei secvențe de puncte cheie; (d) unei secvențe de puncte cheie ordonate cronologic.

#### 6.6 Desen evaluat printr-o secvență de puncte cheie ordonate cronologic (Figura 13d).

Adnotarea trebuie să treacă la o distanță cât mai mică față de un set de puncte cheie în concordanță cu anumite constrângeri temporale.

### **6.7 Desen evaluat prin combinarea constrângerilor definite cu ajutorul contururilor, a punctelor cheie și a condițiilor temporale.**

Profesorul definește un set de constrângeri conform cărora va fi evaluată ulterior adnotarea fiecărui elev.

## **7. Exemplu de definire a unui model de evaluare**

Pentru a exemplifica modalitatea de definire a modelului de evaluare a unei adnotări 3D, vom considera următorul caz:

*Reprezentați pe modelul 3D atașat (vezi Figura 14) linia de incizie necesară pentru a îndepărta pielea afectată. Utilizați o adnotare continuă și respectați toate condițiile necesare: poziție, direcție, viteză de trasare.*

Evaluarea răspunsului la acest exercițiu poate reprezenta o problemă extrem de complexă din multe puncte de vedere. Pentru a obține cel mai bun rezultat, profesorul trebuie să facă uz de mai multe criterii pentru evaluarea adnotării și, prin combinarea acestora, să pună la dispoziția sistemului toate informațiile necesare pentru realizarea unei analize complete și o calculare precisă a notei.

Ca prim pas profesorul trebuie să definească scala de reprezentare a notelor. Aceasta poate fi de la 1 la 10, 1 la 100 sau oricare alte valori numerice. Această scală va fi utilizată de sistem și în calcularea notelor intermediare obținute separat în urma aplicării fiecărui tip de constrângere în parte. Pentru acest exemplu vom considera o scală de la 1 la 10.

**Constrângeri privitoare la suprafață.** Ca și primă constrângere, profesorul poate defini pentru sistem zona minimă care trebuie îndepărtată, prin desenarea unui contur în jurul acesteia utilizând tehnicile de interacțiune prin adnotare 3D ( $C_1$  în Figura 9). Studenții nu trebuie să pătrundă cu adnotarea răspuns în interiorul acestei zone deoarece întreaga suprafață din cadrul conturului va fi îndepărtată. Nota acordată în urma evaluării acestei constrângeri ( $G_{C1}$ ) poate fi definită după cum urmează:

$$G_{C1} = \text{procentul de puncte din adnotare care sunt plasate în afara conturului}$$

Astfel, dacă 80% din punctele care alcătuiesc adnotarea răspuns sunt plasate în afara conturului  $C_1$  nota parțială obținută în urma aplicării acestei constrângeri va fi 8 (conform scalei pe care am ales-o anterior).

În continuare, pentru a evita situația în care elevul îndepărtează o zonă foarte întinsă de piele, profesorul poate defini un al doilea contur ( $C_2$ ) care va avea ca și constrângere condiția ca punctele adnotării răspuns să fie plasate în interiorul său. Deoarece această restricție este foarte importantă și nu ar trebui încălcată indiferent de situație, profesorul poate defini formula de calcul a notei parțiale pentru acest criteriu astfel:

$$G_{C_2} = \begin{cases} 1, & \text{100\% dintre punctele adnotării sunt în interiorul } C_2 \\ 0, & \text{altfel} \end{cases} \quad (2)$$

Deoarece suprafața cuprinsă între contururile  $C_1$  și  $C_2$  nu trebuie să fie foarte îngustă (constrângerea impusă de  $C_2$  este foarte restrictivă și nu ar trebui să penalizeze deviațiile minore de la răspunsul corect) și, în același timp, nu toate adnotările trasate între cele două contururi prezintă același grad de corectitudine, profesorul ar trebui să definească un criteriu suplimentar care să furnizeze sistemului informațiile necesare realizării unei evaluări mult mai precise a răspunsurilor. În acest sens profesorul poate utiliza criteriul de tip „șablon de formă” definit prin trasarea adnotării model ( $A_M$ ) – care reprezintă de fapt răspunsul corect al exercițiului – și prin definirea modului de calcul a notei parțiale obținută pentru acest criteriu, similar cu exemplul de mai jos:

$$G_{AM} = \begin{cases} A_{\max} - d, & d < A_{\max} \\ 0, & \text{altfel} \end{cases} \quad (3)$$

În cadrul acestei formule,  $A_{\max}$  reprezintă valoarea maximă de pe scala de note stabilită anterior iar  $d$  este distanța medie măsurată în metrica stabilită de către profesor (ex. cm, mm, pixeli etc.) dintre adnotarea model și adnotarea răspuns. Vom considera valoarea 7 ca notă parțială obținută în

urma evaluării acestei constrângeri, având în vedere că pentru constrângerea  $C_1$  am stabilit valoarea numerică 8.

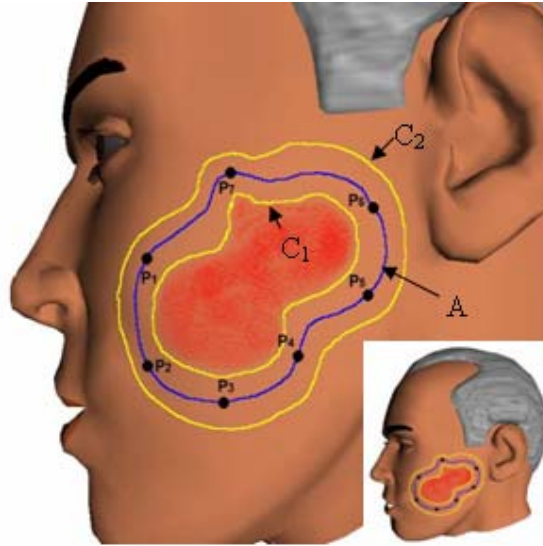


Figura 14. Exercițiu de îndepărtare a zonei afectate

**Constrângeri privitoare la timp și orientarea adnotării.** Două dintre cele mai importante criterii de evaluare ce pot fi definite de către profesor în cazul acestui exemplu sunt direcția adnotării și intervalul de timp în care aceasta ar trebui trasată. În viața reală există numeroase situații în care aceste două criterii prezintă o foarte mare importanță și sunt indispensabile unui proces de evaluare riguros și corect, cum este cazul inciziilor, a cusăturilor, a tăieturilor în materiale cu o structură specială etc. Una dintre cele mai flexibile moduri de a descrie aceste tipuri de constrângeri sunt punctele cheie. Așa cum este prezentat și în Figura 14, o incizie de acest gen poate fi aproximată prin 7 puncte (sau mai multe dacă este necesar). Aceste puncte vor fi plasate de către profesor pe suprafața obiectului prin intermediul tehnicii de adnotare grafică 3D, la momentul conceperii exercițiului. Pentru a permite sistemului să realizeze o evaluare automată a răspunsurilor utilizând aceste criterii, profesorul are obligația de a defini pentru fiecare punct următoarele atribute:

- valorile  $\varepsilon_i$  și notele  $G_{ei}$  corespunzătoare acestora (vezi Figura 11), care pot fi identice pentru toate punctele sau pot să difere, după cum

este necesar  $i = 1..7$

- formula de calcul a notei finale pentru evaluarea realizată prin puncte cheie ( $G_P$ ), din notele parțiale obținute pentru fiecare punct în parte  $G_i$

Opțional, profesorul poate defini și alte atribute corespunzătoare punctelor cheie care să permită sistemului o mai fină diferențiere a răspunsurilor:

- momentul  $t_i$  raportat la începutul adnotării, în care studentul trebuie să ajungă în apropierea punctului cheie  $P_i$ ; nota obținută în urma aplicării acestui criteriu la punctul  $i$  o vom nota  $G_{Ti}$
- intervalele de timp  $\{t_i, t_j\}$  care specifică timpul maxim (sau minim) în care utilizatorul trebuie să parcurgă distanța dintre punctele  $P_i$  și  $P_j$ ; nota corespunzătoare o vom nota cu  $G_{Tij}$
- ordinea în care utilizatorul trebuie să străbată setul de puncte (ex.  $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow \dots \rightarrow P_7$ ); nota obținută conform acestui criteriu va fi notată  $G_D$

Dacă utilizează aceste atribute opționale profesorul trebuie să specifice sistemului modalitatea de calcul a notei parțiale pentru fiecare punct  $G_i$ , utilizând rezultatele obținute din evaluarea fiecărui atribut în parte.

Pentru acest exemplu vom defini:

- fiecare punct  $P_1 \dots P_7$  are 10 zone  $\epsilon_i$  cu  $G_{\epsilon_i} = i$ . Nota maximă pentru fiecare punct este 10 iar nota minimă este 0 (dacă adnotarea elevului nu a atins nici o zonă  $\epsilon_i$ )
- $G_7$  și  $G_5$  reprezintă 30% din  $G_P$  (15% fiecare)
- $G_2$  și  $G_3$  reprezintă 10% din  $G_P$  (5% fiecare)
- $G_1$ ;  $G_4$  și  $G_6$  reprezintă 60% of  $G_P$  (20% fiecare)

$$G_P = 0.15*(G_7 + G_5) + 0.05*(G_2 + G_3) + 0.2 * (G_1 + G_4 + G_6) \quad (4)$$

Dacă vom considera valorile numerice  $G_1 = 10$ ,  $G_2 = 9$ ,  $G_3 = 10$ ,  $G_4 = 8$ ,  $G_5 = 9$ ,  $G_6 = 10$  și  $G_7 = 1$  va rezulta că  $G_P = 8.05$ .

**Constrângeri globale de timp.** Ca și un ultim criteriu pentru evaluarea adnotării, profesorul poate defini timpul global în care elevul ar trebui să

traseze răspunsul, în concordanță cu atributele de timp specificate pentru fiecare punct cheie în parte. Pentru acest exemplu vom considera că acest interval de timp este cuprins între 4 și 7 secunde. Pentru fiecare secundă din afara acestor limite (fie că adnotarea a fost realizată prea repede – ex. 2 secunde – fie că a fost realizată într-un timp prea lung) va fi aplicată o penalitate de 25%. Nota obținută în urma evaluării conform acestui criteriu va fi notată  $G_T$  iar pentru acest exemplu vom considera valoarea numerică 7.5, adnotarea răspuns fiind realizată în 3.

**Nota finală.** După calcularea notelor parțiale rezultate în urma evaluării tuturor constrângerilor descrise mai sus, sistemul va aplica regula stabilită de către profesor pentru calculul notei finale. Această regulă poate fi definită utilizând atât operatori matematici (\*, -, +, / etc.) și o valoare ponderată pentru fiecare notă în parte cât și operatori Logici pentru a putea exprima obligația elevului de a obține o anumită notă la un anumit criteriu. Pentru acest exemplu vom defini următoarele reguli de calcul a notei finale:

- $G_{C1}$  are o pondere de 10% din nota finală
- $G_{C2}$  trebuie să aibă valoarea 1 pentru a considera valid acest răspuns
- $G_{AM}$  are o pondere de 40% din nota finală
- $G_P$  are o pondere de 30% din nota finală
- $G_T$  are o pondere de 20% din nota finală și trebuie să aibă o valoare mai mare de 0 puncte pentru a considera răspunsul valid

Ca urmare, nota finală pentru acest exercițiu va fi calculată astfel:

$$M = (0.1 * G_{C1} + 0.4 * G_{AM} + 0.3 * G_P + 0.2 * G_T) \text{ \&I } (G_{C2} = 1) \text{ \&I } (G_T > 0) \quad (5)$$

Considerând valorile numerice stabilite anterior pentru acest exemplu, nota finală va avea valoarea:

$$\begin{aligned} M &= (0.1 * 8 + 0.4 * 7 + 0.3 * 8.05 + 0.2 * 7.5) \text{ AND } (G_{C2} = 1) \text{ AND } (G_T > 0) \\ &= 6.82 \end{aligned} \quad (6)$$

După cum se poate observa din (5) și (6), în cazul în care elevul nu



plasează adnotarea răspuns în interiorul conturului  $C_2$  sau timpul de realizare a adnotării este prea lung (sau prea scurt), nota finală va fi considerată de către sistem ca fiind 0, chiar dacă valoarea calculată conform celorlalte criterii de evaluare este de fapt 6.82.

## Concluzii

Experimentele realizate în cadrul platformei eTrace au demonstrat necesitatea și eficiența evaluărilor automate a răspunsurilor obținute prin tehnicile de interacțiune bazate pe adnotarea grafică. În viitor, eforturile de cercetare se vor îndrepta înspre implementarea de diferite metode și algoritmi de evaluare a adnotărilor și interpretare a rezultatelor la momentul vizualizării lecției. Câteva dintre direcțiile similare de cercetare din prezent sunt: adnotările orientate pe gestică, modelele semantice a adnotărilor grafice 3D, dezvoltarea de algoritmi pentru desenarea și procesarea adnotărilor grafice realizate pe diferite tipuri de suprafețe 3D, evaluarea utilizabilității și a eficienței.

**Mențiune.** Rezultatele prezentate în cadrul acestui articol au fost obținute în cadrul Proiectului I-Trace Socrates, finanțat de către Comunitatea Europeană, conform Contractului 223434-CP-I-2005-IT-Minerva-M.

## Referințe

- Daily M., Howard M., Jerald J., Lee C., Martin K., McInnes D. and Tinker P., *Distributed Design Review In virtual Environments*, Proceedings of the third international conference on Collaborative Virtual Environments, 2000, pp. 57 – 63.
- Forsberg A. S., Dieterich M. K., and Zeleznik R. C., *The Music Notepad*, Proceedings of UIST '98, ACM SIGGRAPH.
- Goddard T., Sunderam V. S., *ToolSpace: Web Based 3D Collaboration*, Proceedings of the 1999 International Conference on Intelligent User Interfaces, January 5-8, 1999, Redondo Beach, CA, USA, pp. 161- 165.
- Gorgan, D., Ștefănuț, T., *Knowledge Assessment for Annotation Techniques on Medical eLearning Objects*, CBMS 2008 – 21th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems, Jyväskylä, Finland 17-19 June, 2008. IEEE Computer Society 2008, pp. 379-384.
- Jung, T., Mark D. Gross, Ellen Yi-Luen Do, *Annotating and Sketching on 3D Web models*, Proceedings of the 7th international conference on Intelligent user interfaces; 2002; San Francisco, California, USA; pp. 95-102.
- Kara L. B., Shimada K., *Construction and Modification of 3D Geometry Using a Sketch-based Interface*, EUROGRAPHICS Workshop on Sketch-Based Interfaces and

- Modeling (2006).
- Masry M., Kang D. J., Lipson H.: *A freehand sketching interface for progressive construction of 3d objects*, Computers and Graphics 29, 4 (2005), 563–575.
- Moodle - A Free, Open Source Course Management System for Online Learning, <http://moodle.org/>
- Ștefănuț T., Gorgan D., *Graphical Annotation Based Interactive Techniques in eTrace eLearning Environment*, Proceedings of the 4th International Scientific Conference eLSE 2008 - eLearning and Software for Education, Bucharest, April 17-18, 2008, pp. 187-194.
- Tenneson D., *Chempad: Visualizing Molecules in ThreeDimensions*, Workshop on the Impact of Penbased Technology on Education (2007).
- Zelevnik R., Miller T., and Li C., *Designing UI Techniques for Handwritten Mathematics*, EUROGRAPHICS Workshop on Sketch-Based Interfaces and Modeling. August 2007.