

# Evaluarea percepției profunzimii prototipurilor virtuale 3D utilizând sisteme imersive CAVE

**Florin Gîrbacia**  
Universitatea Transilvania din  
Brașov  
B-dul Eroilor 29, 500036,  
Brasov  
garbacia@unitbv.ro

**Andreea Beraru**  
Universitatea Transilvania din  
Brașov  
B-dul Eroilor 29, 500036,  
Brasov  
aberaru@unitbv.ro

**Eugen Butilă**  
Universitatea Transilvania din  
Brașov  
B-dul Eroilor 29, 500036,  
Brasov  
butila@unitbv.ro

## REZUMAT

În această lucrare este prezentat un studiu experimental ce a avut ca obiectiv evaluarea percepției dimensiunilor prototipurilor virtuale într-un mediu imersiv, comparativ cu percepția dimensiunilor acestor modele virtuale utilizând monitorul LCD 2D. În urma experimentului efectuat se constată că percepția valorilor profunzimii prototipurilor virtuale estimate este influențată semnificativ de vizualizarea stereoscopică, precizia de estimare crescând semnificativ cu mărimea profunzimii ce trebuie percepută.

## Cuvinte cheie

Sisteme imersive 3D, Realitate Virtuală, Prototipizare Virtuală.

## Clasificare ACM

H.5.1 Multimedia Information Systems:  
Evaluation/methodology, H.5.2 User Interfaces:  
Evaluation/methodology.

## INTRODUCERE

În ultimii ani, sistemele de proiectare asistată de calculator (CAD) au evoluat, permițând generarea modelelor tridimensionale în locul modelelor filare bidimensionale, astfel fiind posibilă crearea unor geometrii complexe și complete. În cadrul aplicațiilor CAD curente cel mai des utilizat dispozitiv de vizualizare este monitorul CRT/LCD 2D. Dezavantajul acestui dispozitiv este că nu permite percepția profunzimii modelelor CAD 3D. În general, se apreciază că sistemele comerciale de vizualizare stereoscopică existente astăzi oferă condiții superioare de vizualizare și interacțiune comparativ cu posibilitățile reduse ale monitorului 2D. Totuși performanțele diverselor soluții tehnice sunt diferite, fiecare fiind potrivită pentru situații de utilizare bine precizate. Din acest motiv, în ceea ce privește activitățile specifice CAD, este necesară o evaluare a modalității de interacțiune vizuală care să evidențieze impactul tehnologiilor de Realitate Virtuală (RV) asupra percepției vizuale a modelelor CAD 3D pe parcursul procesului de proiectare. În literatura de specialitate sunt prezentate cercetări intense referitoare la percepția profunzimii modelelor 3D în medii imersive sau volumetrice [1, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14], însă noutatea studiului experimental prezentat în această lucrare constă în compararea percepției profunzimii pentru două medii de afișare distincte.

În această lucrare a fost conceput un experiment pentru determinarea modului în care vizualizarea stereoscopică obținută prin utilizarea sistemelor de tip CAVE [2]

facilitează utilizatorului perceperea și aprecierea profunzimii (valoarea dimensiunii de-a lungul axei Z) unor prototipuri tridimensionale. Se știe că percepția reală a dimensiunilor în proiectarea asistată de calculator joacă un rol foarte important în luarea deciziilor de proiectare ale inginerilor. Experimentul realizat ajută la evaluarea beneficiilor oferite de sistemul imersiv de vizualizare stereoscopică comparativ cu utilizarea echipamentelor tradiționale de vizualizare (monitorul 2D LCD/CRT).

## DESCRIEREA SISTEMULUI IMERSIV HOLO-CAVE

Sistemele de Realitate Virtuală imersive de tip CAVE [2] sunt sisteme de vizualizare stereoscopică tridimensională, ce îmbunătățesc semnificativ modul în care utilizatorii pot vizualiza, naviga și interacționa în mediile virtuale. În raport cu alte dispozitive de vizualizare, oferă numeroase avantaje:

- îmbunătățirea senzației de imersie,
- obținerea unor imagini stereoscopice de înaltă definiție,
- câmp de vizualizare larg,
- vizualizare colectivă pentru mai mulți utilizatori și posibilitatea lucrului colaborativ.

În cadrul laboratorului de CAD și Realitate Virtuală al Universității Transilvania din Brasov a fost proiectat și dezvoltat pe baza unor componente și consumabile comerciale, un sistem de vizualizare 3D imersiv reconfigurabil care înglobează funcționalitățile a două principale tipuri de sisteme imersive 3D : Holobench [17] și Cave cu 4 ecrane de proiecție denumit Holo-CAVE [5](figura 1). Sistemul va permite simularea activităților umane atât în postura „așezat la birou” cât și în postura „în picioare”.

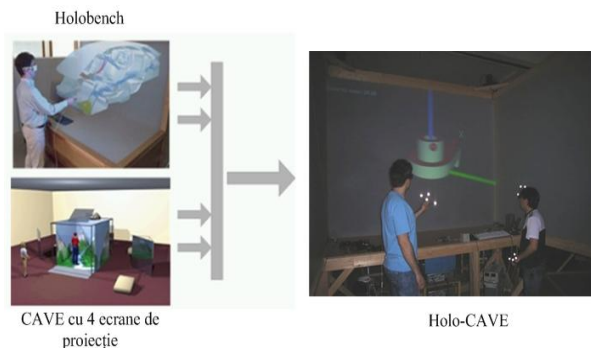


Figura 1. Sistemul imersiv Holo – Cave

Avantajul utilizării acestui sistem îl reprezintă vizualizarea stereoscopică 3D, ceea ce îmbunătățește senzația de prezență în mediul virtual și percepția modelelor 3D, deoarece acestea pot fi vizualizate în mărime naturală. De exemplu în cazul unor prototipuri virtuale complexe, navigarea și selectarea entităților se realizează destul de dificil cu sistemele convenționale, folosind un monitor 2D și echipamentele clasice de interacțiune (mouse 2D, tastatură).

## DESCRIEREA EXPERIMENTULUI

### EȘANTION

Pentru determinarea percepției profunzimii a fost conceput un experiment la care au participat opt subiecți (trei femei și cinci bărbați), cu media de vârstă de 28 de ani și cu simțul vederii în condiții normale de sănătate. Nici unul dintre subiecți nu a utilizat anterior tehnologii de Realitate Virtuală. În schimb, aceștia aveau experiență anterioară în utilizarea programelor de proiectare asistată de calculator comerciale și cunoștințe de utilizare a calculatorului.

### PROTOTIPURI

Pentru experiment s-au utilizat șase prototipuri virtuale compuse fiecare dintr-un paralelipiped cu dimensiuni variabile, așezate pe o masă virtuală cu dimensiunea de 300x 200x 150 cm cu scopul de a oferi subiecților posibilitatea de a aprecia dimensiunile paralelipipedelor (figura 2).

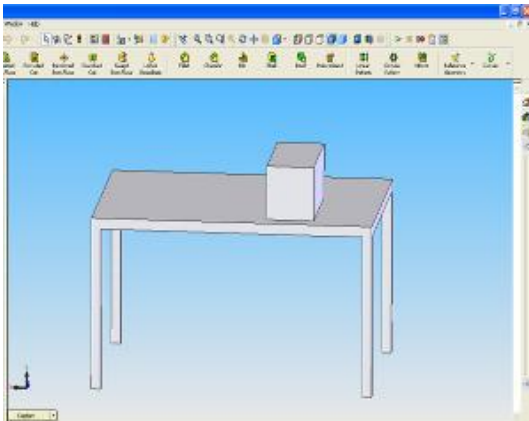


Figura 2. Model prototip virtual utilizat pentru estimare dimensiuni

Toate obiectele de tip paralelipiped aveau lățimea și lungimea de 50 cm, înălțimea pentru fiecare model variind astfel: 15, 30, 45, 60, 75, 90 cm. Scara de reprezentare a modelelor a fost de 1:1. La fiecare estimare a profunzimii utilizatorul va putea vizualiza un singur paralelipiped cu dimensiuni diferite. Modelele au fost realizate utilizând programul SolidWorks și importate în cadrul sistemului Holo-CAVE, utilizând formatul de reprezentare VRML [15] (figura 3). Fiecare subiect a estimat dimensiunile obiectului separat pentru condiții de vizualizare monoscopică și stereoscopică.

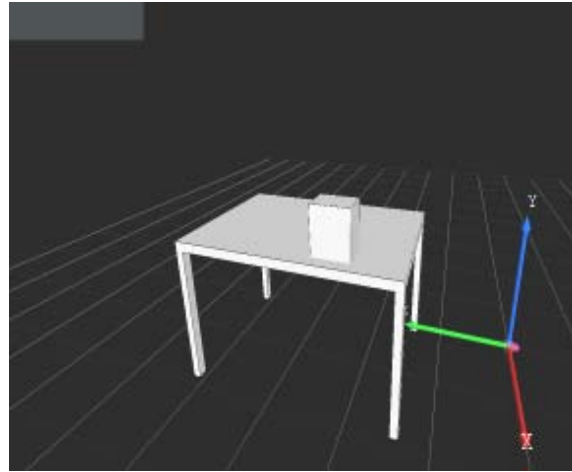


Figura 3. Mediu virtual utilizat pentru estimare dimensiuni

### METODĂ ȘI PROCEDURĂ

Pentru cele două cazuri, vizualizarea modelelor s-a efectuat prin intermediul a două echipamente: monitor 2D LCD cu diagonala de 15.4" pentru vizualizare monoscopică (figura 4) și sistem imersiv Holo-CAVE pentru vizualizare stereoscopică. În primul caz s-a utilizat sistemul CAD SolidWorks, iar pentru redarea obiectelor în sistemul Holo-Cave s-a utilizat sistemul VRSolid dezvoltat în cercetări anterioare [6].



Figura 4. Estimarea dimensiunilor prototipului virtual utilizând interfața clasică 2D a softului Solidworks

Subiecților le-a fost explicat scopul acestui experiment și au fost prezentate instrucțiuni specifice în funcție de metoda de estimare. Pentru estimarea profunzimii, subiecții au fost rugați să aprecieze profunzimea celor șase obiecte în centimetri. De asemenea, subiecții au fost informați în legătura cu dimensiunile mesei virtuale pe care sunt așezate obiectele virtuale. În cazul utilizării sistemului Holo - CAVE valoarea distanței de la punctul de vizualizare până la ecranul de proiecție a fost păstrată constantă (figura 5).

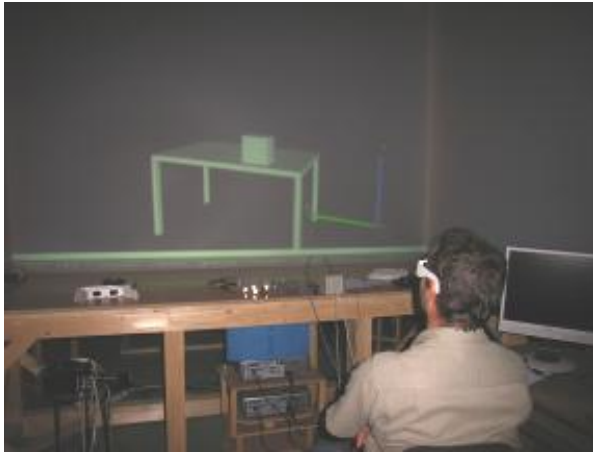


Figura 5. Estimarea dimensiunilor prototipului virtual utilizând sistemul imersiv Holo-CAVE

Ordinea afișării modelelor CAD subiecților a fost aleatoare. Fiecare dintre subiecții participanți la experiment au fost rugați să completeze un chestionar în care erau rugați să furnizeze informații referitoare la vârstă, experiență în utilizarea echipamentelor RV, experiență în utilizarea sistemelor CAD și a calculatorului. Jumătate dintre utilizatori au estimat mai întâi profunzimea obiectelor virtuale în sistemul de proiectare asistată tradițional, apoi, după o pauză de 20 minute au fost rugați să estimeze profunzimea obiectelor utilizând sistemul de vizualizare stereoscopică Holo-CAVE. În paralel, cealaltă jumătate de subiecți au estimat profunzimea obiectelor mai întâi utilizând sistemul stereoscopic și apoi utilizând sistemul monoscopic.

#### ANALIZA DATELOR ȘI REZULTATELE OBTINUTE

Pentru analizarea valorilor estimărilor subiecților au fost realizate două diagrame. Prima diagramă (figura 6) prezintă diferența valorilor estimate a profunzimei comparativ cu valoarea dimensiunii reale a obiectelor. Pentru valori mici ale profunzimei (<35 cm), se poate observa ca subiecții au supraapreciat profunzimea obiectelor. Pentru valori mai mari ale profunzimei, media datelor estimate a fost mai precisă în cazul utilizării vizualizării stereoscopice imersive. Un alt rezultat interesant este că în cazul prezentării stereoscopice imersive a prototipurilor virtuale 3D, pentru toate dimensiunile reale subiecții au supraapreciat valoarea profunzimei.

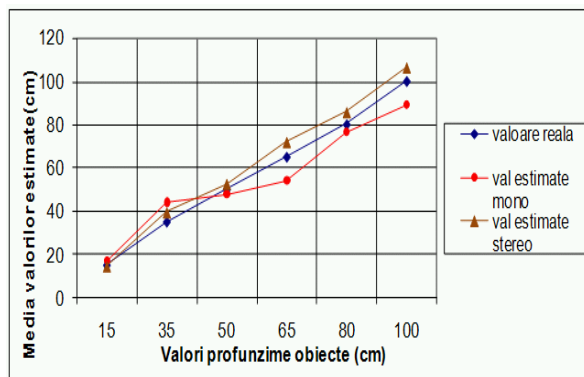


Figura 6. Diferența valorilor estimate a profunzimei comparativ cu valoarea dimensiunii reale

În cea de-a doua diagramă este prezentată valoarea erorii relative cu scopul de a analiza precizia de estimare a profunzimei (figura 7). Eroarea relativă a fost calculată astfel:

$$E_r = (D_p - D_r) / D_r$$

Unde :

$E_r$  – reprezintă valoarea erorii relative calculate;

$D_p$  – reprezintă valoarea profunzimei estimate de către subiecți;

$D_r$  – reprezintă valoarea dimensiunii reale a profunzimei obiectelor virtuale;

Dacă valoarea erorii relative este pozitivă atunci subiectul a supraapreciat profunzimea obiectelor, iar dacă valoarea erorii relative este negativă atunci subiectul a subapreciat profunzimea obiectelor.

Valoarea cea mai mare a erorii relative a fost obținută pentru valoarea profunzimei de 35 mm și s-a datorat supraaprecierii dimensiunilor. Se constată că precizia de estimare în cazul vizualizării stereoscopice nu este mult mai bună pentru dimensiuni mici, în schimb crește semnificativ cu mărimea profunzimei ce trebuie percepută.

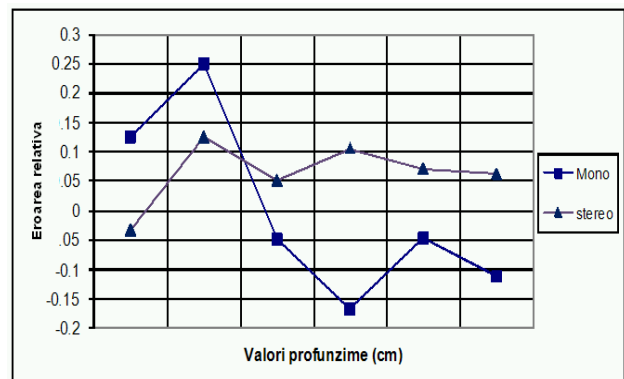


Figura 7. Precizia de estimare a profunzimei prototipurilor virtuale

După realizarea experimentului, fiecare dintre subiecți a fost chestionat referitor la echipamentul de vizualizare preferat. Majoritatea subiecților au apreciat utilizarea sistemelor imersive datorită intuitivității și eficienței. Totuși, au fost subiecți care au considerat inconvenientă necesitatea purtării ochelarilor pentru vizualizarea stereoscopică pasivă.

În urma analizei datelor experimentale, se poate concluce că subiecții au estimat dimensiunile prototipurilor virtuale 3D mai precis când acestea au fost afișate stereoscopic în sistemul imersiv Holo-CAVE, comparativ cu cazul în care au fost prezentate monoscopic. Un alt rezultat interesant al studiului este creșterea preciziei de estimare a dimensiunii cu mărimea obiectelor tridimensionale vizualizate.

#### CONCLUZII

Percepția realistă a dimensiunilor în proiectarea asistată de calculator joacă un rol important în luarea deciziilor de proiectare ale inginerilor.

În această lucrare a fost prezentat un experiment care a avut ca scop estimarea valorii profunzimei prototipurilor virtuale 3D, mai precis când obiectele au fost vizualizate

stereoscopic în sistemul imersiv Holo-Cave comparativ cu utilizarea monitorului 2D.

În urma experimentului realizat se constată că percepția valorilor profunzimii obiectelor virtuale estimate este influențată semnificativ de vizualizarea stereoscopică. Subiecții au estimat valoarea profunzimii obiectelor 3D mai precis când obiectele au fost vizualizate stereoscopic în sistemul imersiv Holo-Cave decât utilizând monitorul 2D. Precizia de estimare în cazul vizualizării stereoscopice nu este mult mai bună pentru dimensiuni mici, în schimb crește semnificativ cu mărirea profunzimii ce trebuie percepută.

Actualmente, testele concepute sunt într-un stadiu preliminar. Totuși, rezultate obținute sunt promițătoare iar alternativa utilizării tehnicilor de Realitate Virtuală pentru înlocuirea sistemelor de vizualizare ale programelor de proiectare asistată de calculator poate fi considerată o alternativă viabilă.

#### CONFIRMARE (MULȚUMIRI)

Cercetarea prezentată în cadrul acestei lucrări a fost finanțată prin intermediul programului de pregătire postdoctorală „Burse postdoctorale pentru dezvoltare durabilă POSTDOC-DD”, POSDRU/89/1.5/S/59323 finanțat de către Fondul Social European și Guvernul României.

#### REFERINȚE

- Brown, M.E., Gallimore, J.J., "Visualization of Three-Dimensional Structure During Computer-Aided Design", *International Journal of Human-Computer Interaction*, Volume 7, Number 1, Pages 37-56, 1995.
- Cruz-Neira, C., "Virtual Reality Based on Multiple projection Screens: The CAVE and Its Applications to Computational Science and Engineering", University of Illinois at Chicago, 1993.
- Foley, J., "Stereoscopic distance perception", *Pictorial communication in virtual and real environments* (2nd ed.), Ed. Taylor & Francis, Pages: 558 – 566, 1993.
- Gallimore, J.J., Brown, M.E., "Visualization of 3-D Computer-Aided Design Objects", *International Journal of Human-Computer Interaction*, Volume 5, Number 4, Pages: 361-382, 1993.
- Gîrbacia, F., Runde, C., Butaru, T., Sisca, S., Talabă, D., "An interactive multi wall projected virtual environment for virtual reality based design and manufacturing simulation", *Proceedings of 12th International Conference on Machine Design and Production*, Kuşadası, Turkey, 2006.
- Gîrbacia, F., "Tehnologii de realitate virtuală aplicate în proiectarea asistată de calculator", *Conferința Națională de Interacțiune Om-Calculator RoCHI 2007*, Constanta, pp. 47-51, 2007.
- Grossman, T., Balakrishnan, R., "An evaluation of depth perception on volumetric displays", *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*, Venice, Italy, Pages: 193 – 200, 2006.
- Hoskinson, R., Akai, C., Fisher, B., Dill, J., Po, B., "Causes of depth perception errors in stereo displays", *Proceedings of the 1st Symposium on Applied perception in graphics and visualization*, Los Angeles, California, Pages: 164 – 164, ISBN:1-58113-914-4, 2004.
- Hu, H. H., Gooch, A. A., Creem-Regehr, S. H., Thompson, W. B., "Visual cues for perceiving distances from objects to surfaces", *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Volume 11, Issue 6, Pages: 652-664, 2002.
- Itu, A., Beraru, A., Staretu I., "Developing Grasping Pre-Shaping in Virtual Environment based on Real Object Shape Analysis", *Product Engineering Tools and Methods Based on Virtual Reality*, Doru Talaba and Angelos Amditis Eds., Ed. Springer Netherlands, Pages: 541-554, 2008.
- Murray, J., "Some perspectives on visual depth perception", *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, Volume 28, Issue 2, 1994.
- Reichelt, S., Häussler, R., Fütterer, G., Leister, N., "Depth cues in human visual perception and their realization in 3D displays", *Three Dimensional Imaging, Visualization, and Display 2010*, Bahram Javidi and Jung-Young Son, Editors, Proc. SPIE 7690, 76900B, DOI:10.1117/12.850094, 2010.
- Surdick, R. T., Davis, E.T., King, R. A., Hodges, L. F., "The perception of distance in simulated visual displays - A comparison of the effectiveness and accuracy of multiple depth cues across viewing distances", *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. Volume 6, Number. 5 Pages: 513-531, 1997.
- Surdick, R.T., Davis, E.T., King, R.A., Corso, G.M., Shapiro, A., Hodges, L., Elliot, K., "Relevant cues for the visual perception of depth: Is what you see it where it is?", *Proceedings of the Human Factors and Ergonomic Society – 38th Annual Meeting*, Pages: 1305-1309, 1994.
- \*\*\*, *Specificații Virtual Reality Modeling Language: www.web3d.org/x3d/specifications/vrml/ISO-IEC-14772-VRML97/*, ultima accesare iunie 2010.
- \*\*\*, *Sistemul de vizualizare stereoscopică imersivă Holobench: http://www.barco.com/fr/virtualreality/product/961* ultima accesare iunie 2010.