

Evaluarea efortului cognitiv de reconstrucție mentală a obiectelor pe baza desenelor tehnice

Florin Gîrbacia

Universitatea Transilvania din
Brașov

B-dul Eroilor 29, 500036,
Brasov

garbacia@unitbv.ro

Eugen Butilă

Universitatea Transilvania din
Brașov

B-dul Eroilor 29, 500036,
Brasov

butila@unitbv.ro

Andreea Beraru

Universitatea Transilvania din
Brașov

B-dul Eroilor 29, 500036,
Brasov

aberaru@unitbv.ro

REZUMAT

În această lucrare este prezentat un studiu experimental ce a avut ca scop estimarea complexității cognitive a desenelor tehnice 2D. În cadrul experimentului a fost măsurat timpul de reacție al subiecților și precizia de reconstrucție a obiectelor 3D din proiecții planare într-un mediu imersiv 3D, comparativ cu utilizarea monitorului 2D. În urma analizei datelor experimentale se constată că datorită timpului de reacție mare și preciziei de recunoaștere reduse, efortul cognitiv al utilizatorului în procesul de dezvoltare al unui produs este ridicat. Precizia de recunoaștere și timpul de reacție nu au fost îmbunătățite considerabil prin utilizarea vizualizării stereoscopice 3D. În finalul lucrării se propune o modalitate de îmbunătățire a performanțelor utilizatorului bazată pe percepția colocalizată a modelului CAD 3D suprapus peste desenul tehnic 2D.

Cuvinte cheie

Proiectare asistată de calculator, Desene tehnice, Realitate Îmbogățită.

Clasificare ACM

H.5.2 User Interfaces: Ergonomics, Evaluation/methodology.

INTRODUCERE

În procesul de dezvoltare al unui produs, ca documentație tehnică aferentă sunt utilizate schițe și desene 2D denumite în literatura de specialitate desene tehnice de execuție 2D [10]. Sistemele de proiectare asistată de calculator (CAD) sunt principalele instrumente care ajută inginerul în procesul de creare eficientă a desenelor tehnice 2D. În ultimii ani, sistemele CAD au evoluat permițând generarea modelelor tridimensionale în locul modelelor filare bidimensionale, astfel fiind posibilă crearea unor geometrii complexe [6]. Instrumentele CAD actuale îmbunătățesc productivitatea și condițiile cognitive prin utilizarea unei baze de date cu reprezentări grafice 3D. Totuși, cu toate că sistemele CAD utilizează reprezentări 3D ale prototipurilor virtuale, desene tehnice 2D sunt bazate doar pe reprezentări planare sau secțiuni. Definiția utilizabilității, conform standardul ISO 9241-11, se referă la următoarele metrici: ușurința în înțelegere, ușurința în învățare, ușurința în operare, atractivitate și

conformitate [11]. Din punct de vedere al utilizabilității, desenele tehnice necesită reconstrucția mentală, percepția și înțelegerea informațiilor spațiale ale unei piese 3D din reprezentările axonometrice planare. Procesul cognitiv de reconstrucție este dificil, deoarece inginerul trebuie să genereze în creier o imagine 3D a produsului folosind proiecțiile axonometrice și secțiuni 2D și apoi să utilizeze acea imagine reconstruită pentru diferite operații ale procesului de fabricație al produsului respectiv.

Activitățile noastre de cercetare sunt axate în principal pe reducerea complexității cognitive cu care se confruntă un inginer/muncitor pe parcursul procesului de dezvoltare a unui produs. În această lucrare se prezintă un studiu experimental ce a avut ca scop analiza efortului cognitiv al utilizatorului în procesul de reconstrucție mentală a pieselor 3D utilizând desene tehnice 2D. Rolul vizualizării stereoscopice 3D în procesul de reconstrucție mentală este de asemenea analizat. Lucrarea este organizată după cum urmează: în secțiunea 2 sunt prezentate cercetările anterioare din acest domeniu, în secțiunea 3 este descris experimentul realizat, în secțiunea 4 sus punctate rezultatele obținute, în secțiunea 5 sunt analizate rezultatele obținute și în secțiunea 6 sunt schițate posibile direcții de cercetare pentru crearea unei noi clase de desene tehnice.

STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ÎN DOMENIUL PERCEPȚIEI FORMEI PIESELOR 3D

În literatura de specialitate sunt prezentate cercetări referitoare la percepția formei unui obiect 3D [1], [2], [5], [7], [9]. Totuși, nu au fost găsite soluții / metode care să cuantifice efortul cognitiv al utilizării desenelor tehnice 2D pentru reconstrucție mentală 3D a unei piese. În [7] autorii analizează percepția suprafețelor 3D afișate ca model filar și rolul disparității binoculară în procesul de percepție a suprafețelor. Rezultatele prezentate indică faptul că percepția binoculară și monoculară utilizată pentru reconstrucția formei 3D din contururi 2D implică mecanisme similare.

În cadrul unor cercetări mai recente, în [8] este prezentat un studiu experimental care a urmărit estimarea timpului de reacție și a preciziei de recunoaștere mentală a imaginilor 2D sau 3D. În acest studiu au fost folosite modele simple (primitive) care au o complexitate redusă și

nu se pot compara cu complexitatea pieselor utilizate în industrie.

DESCRIEREA EXPERIMENTULUI

În această lucrare este prezentat un studiu experimental ce a avut ca scop măsurarea timpului de reacție al utilizatorului și precizia de reconstrucție a imaginilor 3D din proiecții planare într-un mediu imersiv 3D, comparativ cu utilizarea monitorului CRT 2D. Rezultatele acestui experiment vor permite evaluarea impactului acestor tehnologii asupra performanțelor utilizatorului.

EȘANTION

La experimentul realizat au participat șase subiecți (două femei și patru bărbați), 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 desenelor tehnice de execuție și cunoștințe de utilizare a calculatorului.

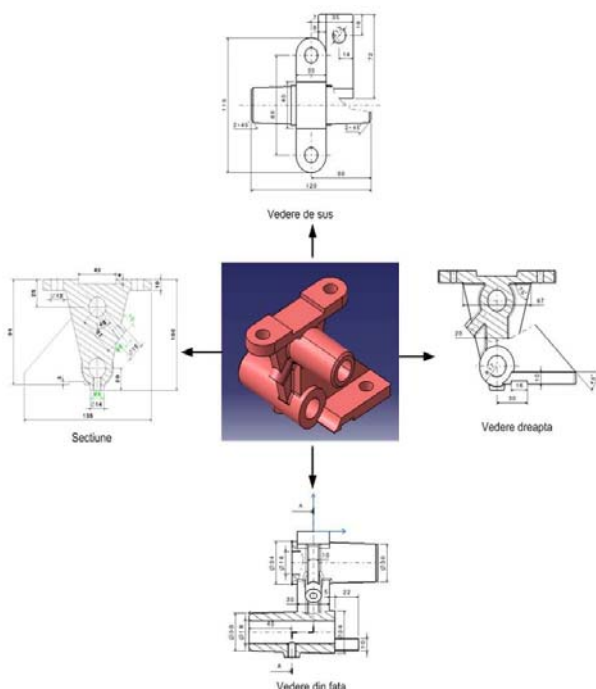


Figura 1. Componentele unui desen tehnic 2D

PROTOTIPURI

Pentru experiment s-a utilizat un set de patruzeci de modele CAD 3D și desene tehnice aferente cu complexitate medie. Piesele utilizate pentru test au fost selectate dintr-un manual de inginerie mecanică și au avut topologie diferită. Într-o primă etapă fiecare piesă a fost modelată folosind programul de proiectare asistată de calculator CATIA. În cea de-a doua etapă pentru fiecare piesă 3D au fost generate desenele tehnice 2D corespunzătoare, utilizând modulul de proiectare al softului CAD CATIA. Desenele tehnice generate includ proiecții axonometrice și pentru anumite piese, secțiuni și caracteristicile detaliate (figura 1). Deoarece s-a studiat și influența vizualizării stereoscopice 3D, modelele CAD 3D au fost convertite în formatul neutru standardizat ISO Virtual Reality Modelling Language (VRML) ce a permis

importul automat și afișarea 3D în programul implementat pentru acest experiment.

TEHNOLOGII DE AFIȘARE

Piesele CAD 3D au fost vizualizate utilizând două tipuri de dispozitive: un echipament universal 2D CRT cu diagonala de 19" pentru interfață desktop și un sistem stereoscopic 3D activ pentru percepția imaginilor tridimensionale (figura 4). Pentru al doilea sistem a fost utilizată o soluție standard bazată pe un monitor CRT și ochelari cu obturare fără fir Crystal Eyes. Pentru afișarea modelelor 3D a fost conceput un program dedicat pentru acest experiment, implementat utilizând BS Contact SDK și mediul avansat de programare Visul C++ (fig. 2).



Figura 2. Selectarea unui model virtual 3D folosind sistemul de vizualizare stereoscopică activă

METODĂ ȘI PROCEDURĂ

În jumătate din sesiunile experimentului, modelele virtuale 3D au fost afișate utilizând sistemul desktop monoscopic, iar în cealaltă jumătate modelele au fost vizualizate stereoscopic 3D utilizând sistemul imersiv RV. Imaginile au fost afișate folosind proiecția în perspectivă a punctelor modelului. Distanța de vizualizare a fost de aproximativ 45 de centimetri. Stimulii vizuali au fost vizualizați pe ecranul amplasat la o distanță identică cu înălțimea ochilor fiecărui subiect. Subiecții au avut posibilitatea de a schimba punctul de vizualizare în mediul 3D, prin intermediul unui mouse 2D.

Subiecților le-a fost explicat scopul acestui experiment și au fost prezentate instrucțiuni specifice în funcție de metoda de estimare. Înainte de efectuarea experimentului fiecare subiect a avut posibilitatea de a se familiariza cu programul de testare. Utilizatorii au avut cinci minute înainte de experiment, pentru practicarea modalităților de selecție și navigare folosind un mediu virtual asemănător cu cel utilizat în experiment. Apoi pentru a începe experimentul au apăsat butonul "Start" al programului implementat. Pentru fiecare subiect este inițial afișată o imagine 2D aleatorie ce reprezintă un desen tehnic al unui model CAD, urmând ca pe baza acestui desen utilizatorul să reconstruiască mental modelul 3D al piesei corespunzătoare. Pentru a testa precizia procesului de reconstrucție mentală și timpul de reacție, desenul tehnic 2D a fost afișat pentru maxim 25 de secunde pentru primele cinci piese sau maxim 60 de secunde pentru următoarele cinci piese. În cazul în care subiectul a

reconstruit mental modelul într-un timp mai scurt decât cel alocat, va apăsa pe butonul "OK" și va trece automat în mediul virtual 3D. Imediat după aceea, subiectul trebuia să identifice în maxim 25 de secunde modelul 3D reconstruit mental dintr-un set de trei modele virtuale asemănătoare. Pentru a diferenția cele trei modele virtuale, au fost adăugate sau eliminate unele trăsături ale modelului CAD (de exemplu prin adăugarea unui alezaj sau eliminarea unor racordări).

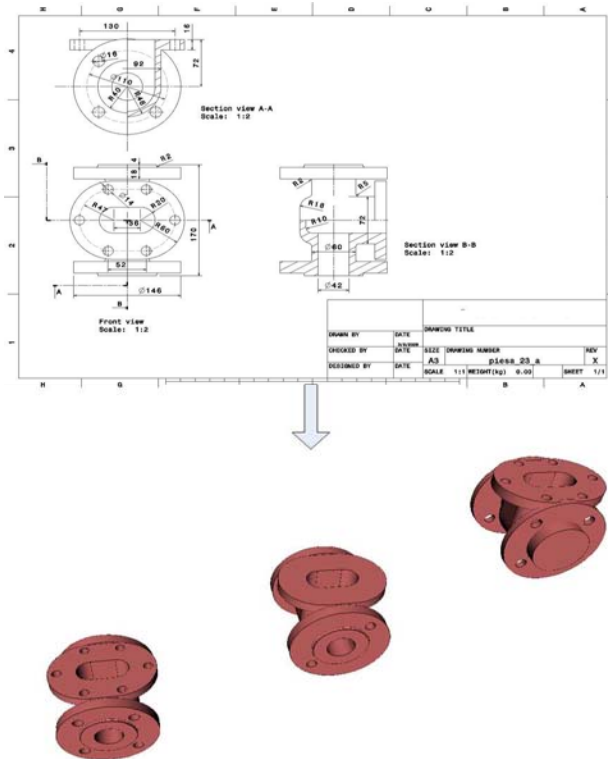


Figura 3. Identificarea piesei 3D reconstruită mental utilizând proiecții planare 2D

Subiecții au fost instruiți să aleagă cu mouse-ul modelului virtual 3D considerat a fi corect din setul de modele virtuale afișate. După selecția piesei 3D, se va afișa un nou desen tehnic, iar procesul este reluat. Dacă utilizatorul nu a selectat un model virtual din setul afișat, testul este considerat un eșec. Fiecare subiect a efectuat testul pentru 20 de piese, primele zece piese au fost vizualizate folosind sistemul monoscopic, iar restul de piese au fost vizualizate utilizând sistemul stereoscopic 3D. Ordinea prezentării pieselor subiecților a fost aleatoare. Acțiunile fiecărui subiect și timpul de finalizare al taskului, în milisekunde, au fost înregistrate în fișiere text pe baza cărora s-a analizat rezultatele experimentului.

ANALIZA DATELOR ȘI REZULTATELE OBȚINUTE

În tabelul 1 este prezentată media preciziei de recunoaștere a pieselor 3D din desenul tehnic pentru subiecții care au participat la experiment.

Tabelul 1. Media preciziei de recunoaștere a pieselor 3D din desenul tehnic

Timp (secunde)	Precizie recunoaștere utilizând vizualizarea monoscopică	Precizie recunoaștere utilizând vizualizarea stereoscopică
----------------	--	--

25	43,20%	46,60%
60	56,60%	63,20%

Principalul motiv al preciziei semnificativ reduse este constituit de capacitatea limitată de memorie de scurtă durată a oamenilor, ce face dificilă compararea imaginii 3D a piesei reconstruită în creier din proiecțiile planare cu modele virtuale 3D afișate. Când timpul pentru prezentarea desenului 2D a fost majorat la maxim 60 de secunde, precizia a fost superioară, deoarece modelul a putut fi reconstruit mental mai bine prin utilizarea memoriei de lungă durată. De asemenea s-a observat că vizualizarea stereoscopică 3D nu îmbunătățește semnificativ precizia recunoașterii pieselor 3D reconstruite mental din proiecții planare.

În figura 4 este prezentată media timpului de reacție a subiecților. Analiza datelor indică faptul că mecanismele de reconstrucție mentală a piesei 3D utilizând vizualizarea monoscopică/stereoscopică implică metode similare și nu are o influență majoră asupra timpului de reacție al utilizatorului. Acest parametru denotă complexitatea cu care se confruntă inginerul în procesul de dezvoltare a unui produs. Cauza principală ar putea fi necesitatea de a gestiona mental într-un timp scurt o cantitate mare de informații.

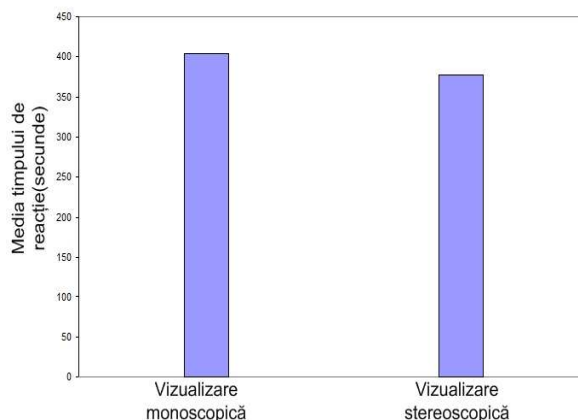


Figura 4. Media timpului de reacție al subiecților

DISCUȚIE

În procesul de dezvoltare a unui produs inginerul trebuie să proceseze o cantitate mare de informații importante care conduc la complexitate cognitivă ridicată. Clasa de desene tehnice disponibile actual, nu reduce dificultatea cu care se confruntă inginerul, ceea ce poate conduce la o situație în care factorii de design importanți nu sunt luați în considerare, în acest caz putând apărea eșecuri. Din experimentul realizat, datorită precizie reduse și timpului de reacție ridicat, se poate argumenta că desenele tehnice 2D actuale ar trebui să afișeze imagini reprezentând modelul virtual 3D al piesei co-localizat cu desen tehnic 2D aferent. Studii recente prezentate în [4] arată că un sistem cu o reprezentare tridimensională a modelului crește performanța de îndeplinire a sarcinilor care necesită percepția și înțelegerea de informații spațiale. În [3] se demonstrează prin intermediul unui studiu experimental că percepția modelelor 3D poate fi îmbunătățită folosind tehnologii de Realitate Îmbogățită. Realitate Îmbogățită

este o direcție de cercetare relativ nouă care permite crearea unui spațiu virtual interactiv încorporat în mediul real. Spre deosebire de tehnologiile de Realitate Virtuală, în care utilizatorii sunt complet imersați în mediul virtual artificial, utilizatorii tehnologiilor de Realitate Îmbogățită pot percepe obiectele virtuale și cele reale, existând în același spațiu (co-localizate). Co-localizarea modelului 3D CAD al piesei în mediul real pune la dispoziția utilizatorilor posibilitatea de a percepe realist desen tehnic. Crearea și evaluarea unei noi clase de desene tehnice bazată pe tehnologiile de Realitate Îmbogățită reprezintă obiectul unor cercetări viitoare.

CONCLUZII

Precizia de reconstrucție mentală a pieselor 3D din desenele tehnice 2D joacă un rol important în luarea deciziilor inginerilor proiectanți. În această lucrare a fost prezentat un studiu experimental care a avut ca scop evidențierea complexității cognitive a desene tehnice 2D prin măsurarea timpului de reacție și a preciziei de reconstrucție mentală a piesei 3D din proiecțiile planare. În urma analizei datelor experimentale, se poate afirma că datorită timpului de reacție ridicat și preciziei reduse de recunoaștere a unei piese 3D, complexitatea cu care se confruntă inginerul în procesul de dezvoltare a unui produs este ridicată. Timpul de reacție și precizie de recunoaștere nu au fost îmbunătățite considerabil prin utilizarea vizualizării stereoscopice 3D. O alternativă viabilă propusă în urma efectuării acestui experiment este de a dezvolta o nouă clasă de desene tehnice 2D care să permită co-localizarea modelului virtual 3D în mediul real. În figura 5 este prezentat un exemplu de desen tehnic îmbogățit al unei aplicații software în curs de dezvoltare.

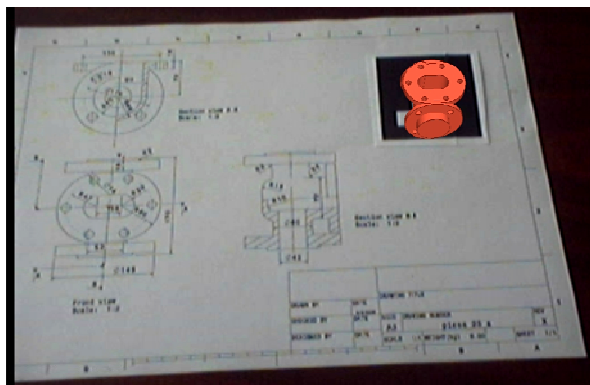


Figura 5. Prototip desen tehnic îmbogățit

CONFIRMARE (MULȚUMIRI)

Cercetarea prezentată în cadrul acestei lucrări a fost finanțată prin intermediul programului de pregătire postdoctorală „Burse postdoctorale pentru dezvoltare durabila POSTDOC-DD”, POSDRU/89/1.5/S/59323

finanțat de către Fondul Social European și Guvernul României.

REFERINȚE

1. Butler, D., "Predicting the perception of three-dimensional objects from the geometrical information in drawings", *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Volume 8, Pages: 674-692, 1982.
2. Dori, D., Tombre, K., "From engineering drawings to 3D image models: are we ready now?", *Computer-Aided Design*, Volume 27, Pages: 243-254, 1995.
3. Dunston, P., Wang, X., Billingshurst, M., Hampson B., "Mixed reality benefits for design perception", *Proceedings of 19th International Symposium on Automation and Robotics Construction*, Pages: 191-196, 2002.
4. Fiorentino, M., Monno, G., Uva, A.E., "Tangible digital master for product lifecycle management in augmented reality", *Int J Interact Des Manuf*, vol. 3, Pages: 121-129, 2009.
5. Grossberg, S., "Cortical Dynamics of Three-Dimensional Figure-Ground Perception of Two-Dimensional Pictures", *Psychological Review*, vol. 104, Pages: 618-658, 1997.
6. Gîrbacia, F., Beraru, A., Butila, E., "Evaluarea percepției profunzimii prototipurilor virtuale 3D utilizând sisteme imersive CAVE", *Conferinta Nationala de Interactiune Om-Calculator RoCHI 2010*, Bucuresti, pp. 51-54, 2010.
7. Hoffmann, C., Pizlo, Z., Popescu, V., Price, S., "Perception of surfaces from line drawings", *Displays*, vol. 28, Pages: 1-7, February 2007.
8. Kashihara K., "Evaluation of the Cognitive Process during Mental Imaging of Two- or Three-Dimensional Figures", *ACHI '09 Proceedings of the 2009 Second International Conferences on Advances in Computer-Human Interactions*, Pages: 126-130, 2009.
9. Lowe, D., "Evaluation of the Cognitive Process during Mental Imaging Three-dimensional object recognition from single two-dimensional images," *Artificial Intelligence*, vol. 31, Pages: 355-395, 1987.
10. Piegl, L., "Ten challenges in computer-aided design", *Computer-Aided Design*, vol. 37, Pages: 461-470, April 2005.
11. Alexandru, A., Jitaru, E., Alexandru, C., Bica, O., "Rolul interfeței utilizator în asigurarea accesului universal în contextul Societății Informaționale", *Conferinta Nationala de Interactiune Om-Calculator RoCHI 2006*, pp. 51-54, 2006.