

TEZĂ DE DOCTORAT

Rezumat

Ing. Radu Emanuil Petruse

Aplicații ale Realității Augmentate în concepția și fabricația produselor

Conducător Științific:

Prof. Univ. Dr. Ing. Ioan Bondrea

Sibiu

2016

Pentru a fi competitive, organizațiile de azi trebuie să fie capabile să sporească valoarea produselor prin oferirea posibilității de a fi personalizate de către clienți, să fie capabile să producă produse de înaltă precizie și calitate, în cel mai scurt timp și la un cost compatibil cu cererea pieței. În general, dezvoltarea unui produs complex implica mai multe departamente și furnizori. Intre 50% și 80% din componentele unui produs complex sunt procurate de la furnizori dispersați geografic. Astfel este nevoie de dezvoltarea unui mediu care să faciliteze munca colaborativă între partenerii implicați în dezvoltarea produsului.

În scopul de a îmbunătăți procesul de dezvoltare a produselor în mediul de munca colaborativ sunt utilizate tehnologii asistate de calculator cum ar fi: CAD, CAM, CAPP, FEA, PDM, etc. Soluții, care asistă utilizatorul în fazele de concepție-proiectare, fabricație, control și mentenanță din ciclul de viață al produsului. Însă toate aceste soluții se bazează pe realitatea virtuală, ceea ce conduce la aplicarea ingineriei virtuale (un model virtual extrem de complex atât al produsului cât și al tehnologiilor și resurselor necesare procesului de fabricație).

Sub aceste circumstanțe, inovațiile privind procesul de fabricație întâmpină provocări extraordinare. Cu scopul de a reduce costurile și timpul de producție dar și pentru a crește eficiența de dezvoltare a produselor, gradul de digitalizare al tehnologiilor asistate de calculator este într-un progres dinamic și continuu.

Totuși, odată cu beneficiile aduse de implementarea acestui concept, de inginerie virtuală, apar și dezavantaje. Dezavantajul principal este creat de costurile ridicate generate de achiziția echipamentelor hardware și software necesare. Costuri suplimentare sunt generate și de sistemul de mentenanță care trebuie implementat pentru tehnica de calcul. Pe lângă costurile generate de achiziția și întreținerea echipamentelor care permit implementarea ingineriei virtuale se adaugă costurile necesare instruirii angajaților și costurile generate de timpul pierdut în perioada de implementare și verificare a tehnologiilor. De asemenea, din cauza liniilor de fabricație flexibile necesare, angajații trebuie să fie instruiți mai rapid și mai eficient, astfel încât aceștia să poată face față schimbărilor rapide.

Totodată implementarea tehnologiilor asistate de calculator de marile companii poate constitui o piedică pentru furnizorii lor, companiile de mici dimensiuni. Acestea sunt constrânse în a adopta o tehnică de calcul compatibilă cu cea folosită de clienți pentru a face față cerințelor, din acest motiv fiind nevoiți să crească prețul produselor furnizate pentru a-și amortiza investițiile.

Deficiența produsă în urma aplicării acestui concept de fabricație complex, bazat pe realitatea virtuală, este că informația digitală a unui produs devine foarte complexă și un singur computer nu poate satisface resursele de sistem necesare. Astfel este nevoie de dezvoltarea unui întreg sistem informatic. Spre exemplu doar prototipul virtual al unui produs este un ansamblu de informații digitale foarte complex. Acesta reprezintă toate aspectele care țin de proiectarea unui produs dar și informații despre funcțiile pe care trebuie să le îndeplinească. Gradul de digitalizare a tehnologiilor de fabricație a cunoscut un progres continuu datorită necesității de a reduce costurile și timpul necesar producției dar și pentru a spori eficiența de dezvoltare a produsului.

Un alt dezavantaj constituit de utilizarea acestui prototip virtual este că necesită instrumente software specifice pentru a utiliza informațiile digitale. În cele mai multe cazuri, aceste instrumente sunt foarte costisitoare și necesită aceeași versiune de software cu care a fost creată informația digitală originală. Având în vedere cantitatea mare de furnizori de software de pe piață, acest lucru poate fi o mare problemă într-un mediu de muncă colaborativ.

Soluția acestei probleme constă în simplificarea modelelor digitale în funcție de nevoile fiecărui utilizator astfel încât cantitatea de informație digitală să fie redusă. În acest mod resursele hardware și software necesare pot fi ținute la un nivel minim. Astfel, tehnologiile bazate pe realitate virtuală pot fi adoptate de către toate părțile care contribuie la dezvoltarea produsului fără a implica creșterea enormă a costurilor.

Obiectivele cercetării

Pentru a compensa acest grad de complexitate ridicat al informației digitale prezent într-un mediu colaborativ, utilizarea formatelor de fișiere standardizate nu este suficientă, deoarece necesită în continuare instrumente hardware și software specifice pentru a fi în măsură să utilizeze datele prototipurilor virtuale.

O soluție la această problemă poate fi utilizarea Realității Augmentate (RA) pentru a asista fazele din ciclul de viață al unui produs. Prin utilizarea RA membrii, care au roluri și competențe diferite, dintr-o echipă de dezvoltare a unui produs pot vizualiza și interacționa cu conținutul digital necesar, fără a fi nevoiți să dezvolte noi competențe sau să achiziționeze noi software-uri sau echipamente hardware.

Obiectivul principal al acestei teze este de a concepe și realiza aplicații prin care Realitatea Augmentată să poate fi utilizată pentru îmbunătățirea performanței membrilor unei echipe în conceperea produselor, dintr-un mediu de muncă colaborativ, dispersat geografic.

De asemenea, cu ajutorul realității augmentate, această cercetare propune să găsească o metodă pentru a optimiza procesul de instruire al angajaților. Mai mult decât atât, prin aplicarea realității augmentate într-un proces colaborativ de dezvoltare a produsului, cercetarea propune o soluție pentru a minimiza infrastructura hardware și software necesară.

Planul de cercetare din cadrul acestei teze de doctorat este axat pe următoarele întrebări:

- Poate, o tehnologie în curs de dezvoltare, cum este RA fi utilizată pentru dezvoltarea produselor și în care din etapele, ciclului de viață al produsului poate fi aplicată eficient?
- Poate fi utilizată RA într-un mediu de lucru colaborativ pentru a îmbunătăți procesul de dezvoltare a produsului?
- Poate fi îmbunătățit procesul de instruire al angajaților prin aplicarea RA?

Structura și conținutul tezei de doctorat

Tema tezei de doctorat are ca scop evaluarea implicațiilor realității augmentate în conceperea și dezvoltarea produselor.

Lucrarea este structurată din șase etape de cercetare care conțin opt capitole, prezentul capitol introductiv și de alte șapte capitole în care sunt detaliate cercetările.

În introducere, este prezentată o imagine de ansamblu asupra realității augmentate. Pornind de la definiția RA, este relatată o scurtă istorie a evoluției sale, începând cu anul 1901 până la data curentă. În continuare, este realizată o analiză privind evoluția anuală a numărului, tipul și domeniul de aplicare al lucrărilor științifice pe tema RA publicate în bazele de date Thompson Reuters Web of Science, SCOPUS și literatura științifică de cercetare indexată în ANELiS. De asemenea, o evoluție a popularității realității augmentate este realizată în acest capitol, utilizând Google Trends și Gartner's Hype Cycle.

Al doilea capitol al tezei, este dedicat identificării stadiului actual al realității augmentate prin examinarea celor mai recente lucrări științifice și aplicații comerciale. Este realizată o trecere în revista a principalelor domenii în care RA este utilizată și ce implicații aduce aceasta. Domeniile de aplicare a RA cercetate sunt: arheologie, arhitectură, arte, comerț, construcții, educație, utilizarea de zi cu zi, jocuri, industrie, medicină, militar, sport și turism.

În al treilea capitol este prezentată o analiză și o evaluare a celor mai noi tehnologii disponibile pe piață, care sunt necesare pentru punerea în aplicare a RA. Începând cu

echipamentele de afișare a RA, acestea sunt analizate din prisma poziției pe corpul uman și din prisma tehnologiei de afișare utilizată. Următoarea tehnologie necesară implementării RA analizată în acest capitol este utilizată pentru a urmări mediul real și mișcările utilizatorului. O altă tehnologie necesară pentru punerea în aplicare a RA evaluată în acest capitol, oferă interfața și interacțiunea cu utilizatorul. Mai multe tipuri de soluții sunt evaluate, inclusiv: indicatori 3D, sisteme de interacțiune cu utilizator, tangibile și haptice, recunoașterea gesturilor, senzori de urmărire a privirii, de recunoaștere a vocii și dispozitive biometrice. Soluțiile software fără care RA nu pot fi aplicată sunt, de asemenea, evaluate în acest capitol. Fiind una dintre cele mai importante tehnologii care permit implementarea RA aproape toate soluțiile disponibile pe piață sunt evaluate și, dacă a fost posibil, testate. 13 produse software sunt profund analizate și pentru alte 28, este creat un tabel de comparație care rezumă principalele caracteristici. Cerințe suplimentare necesare implementării RA sunt analizate. Cum ar fi rețelele, baze de date și sistemele pentru generarea de conținut intelectual (modele 3D). Această evaluare se încheie cu un subcapitol de concluzii în care sunt subliniate limitările RA rezultate.

Al patrulea capitol al tezei, intitulat "Augmented Reality Enabling Software and Hardware Test" este dedicat testării echipamentelor software și hardware care vor fi utilizate pentru dezvoltarea aplicațiilor proprii cu RA. Aceste aplicații proprii sunt create pentru a putea cerceta implicațiile utilizării realității augmentate și pentru a stabili care este cel mai intuitiv mod de interacțiune. Diferite echipamente hardware și software sunt testate. Primele echipamente testate sunt dispozitivele de înregistrare video în timp real. Cinci astfel de echipamente sunt testate și calibrate pentru a se obține imagini nedistorsionate utilizate la implementarea RA. Următoarea tehnologie testată este utilizată pentru urmărirea mediului și a poziției utilizatorului în raport cu conținutul digital suprapus. Patru metode pentru detecție au fost testate în laborator: marker tracking, natural feature tracking, 3D feature tracking (fără markere) și de urmărire a mișcărilor utilizatorului. Ultima metodă a implicat utilizarea și programarea unui senzor de mișcare Microsoft Kinect. Software-urile care permit generarea și sincronizarea conținutului digital necesar pentru implementarea RA sunt următoarele tehnologii testate. Aici, trei software-uri sunt utilizate pentru a crea aplicații cu RA alese în funcție de complexitatea care este necesară fiecărei aplicații. Ultima tehnologie testată în acest capitol, este utilizată pentru a vizualiza conținutul RA. Pentru aceasta, patru echipamente sunt folosite pornind de la un simplu monitor LCD până la ochelari pentru realitatea augmentată.

Al cincilea capitol al tezei, intitulat "Experimental Augmented Reality Applications Developed" prezintă cercetările experimentale cu aplicațiile RA concepute și realizate pe parcursul cercetărilor. În acest capitol sunt prezentate zece aplicații cu RA create. Dezvoltarea acestor aplicații are ca și rezultat publicarea a șapte lucrări științifice în perioada de cercetare doctorală. Toate aceste aplicații sunt create pentru a asista diferite faze din procesul de dezvoltare al produselor. În acest capitol sunt concepute aplicații pentru instruire asistată de RA pentru domeniile CAD, CAM, și aplicații de instruire pe CNC. De asemenea au mai fost dezvoltate aplicații care pot îmbunătăți diferite procese industriale, cum ar fi: utilizarea RA pe o linie de fabricație flexibilă FESTO, RA utilizată pentru managementul sculelor așchietoare, RA utilizată pentru asigurarea calității, RA utilizată pentru a asista în programarea roboților industriali, RA utilizată pentru a îmbunătăți operațiile de asamblare, RA utilizată pentru a prezenta rezultatele analizelor cu element finit și RA utilizată pentru marketing. Fiecare aplicație creată pentru această fază a tezei de doctorat se bazează pe tehnologiile testate în capitolul anterior și evaluate în capitolul al treilea.

Al șaselea capitol al tezei, intitulat "Augmented Reality Collaborative Platform" începe cu o analiză a echipelor dispersate geografic și a mediilor de lucru colaborative din care sunt prezentate avantajele și dezavantajele lor. Pe baza acestei analize, este creată o platformă colaborativă on-line pentru dezvoltarea produsului. Această platformă este bazată pe modelul V pentru dezvoltare a produselor. Platforma este compusă din 12 pași concepuți pentru a ghida utilizatorii săi prin toate fazele din ciclului de viață al unui produs, de la analiza nevoilor pieței până la reciclare și îmbunătățirea produsului. Realitatea augmentată este aplicată în aproape toate etapele platformei colaborative pentru a îmbunătăți procesul de dezvoltare a produsului.

Capitolul al șaptelea prezintă evaluarea rezultatelor obținute în urma testării aplicațiilor cu RA prin aplicarea unui sondaj on-line asupra utilizatorilor care le-au testat. De asemenea, în interiorul acestui capitol funcționalitatea platformei colaborative este testată cu un studiu de caz care implică dezvoltarea unui nou gripper pentru un braț robotic industrial.

Ultimul capitol al tezei, prezintă concluziile rezultate, contribuțiile personale și direcțiile de cercetare viitoare.

Contribuții originale

Prin teza de față s-au adus o serie de contribuții originale în ceea ce privește aplicarea realității augmentate pentru concepția și fabricația produselor. Mare parte din aceste contribuții au fost publicate sau sunt în curs de publicare în lucrări științifice din țara și străinătate. Lista lucrărilor științifice publicate precum și evenimentele științifice la care a participat autorul în timpul cercetărilor doctorale poate fi găsită la finele acestui capitol.

De asemenea, o parte din cercetările realizate în această teză de doctorat au fost propuse de către autor pentru a face parte din proiectul FP7 VISION Advanced Infrastructure for Research (VISIONAIR). În urma aprobării acestei propuneri, cercetările au fost efectuate la institutul de cercetare din Milano „Consiglio Nazionale delle Ricerche - ITIA”. Ulterior, rezultatele acestei cercetări au fost selecționate pentru a fi prezentate în cadrul conferinței de încheiere a proiectului VISIONAIR care a avut loc în Rennes, Franța.

În urma cercetărilor efectuate, precum și a rezultatelor obținute se sintetizează următoarele contribuții proprii:

Contribuții teoretice:

- Realizarea unei analize științifice privind evoluția realității augmentate până în prezent.
- Analizarea evoluției anuale, începând cu anul 1991, a numărului, tipului și domeniului de aplicare al lucrărilor științifice pe tema realității augmentate, publicate în bazele de date Thompson Reuters Web of Science, SCOPUS și literatura științifică de cercetare indexată în ANELiS.
- Utilizând Google Trends și Gartner's Hype Cycle sa realizat un studiu asupra evoluției popularității realității augmentate începând cu anul 2004 până în prezent.
- S-a realizat un studiu al implementării realității augmentate (RA) și al aplicațiilor existente din următoarele domenii: arheologie, arhitectură, artă, comerț și marketing, construcții, educație, industria jocurilor video, domeniul industrial, medicină, militar, sporturi și divertisment, turism.
- S-a realizat o evaluare a tehnologiilor disponibile pe piață, necesare implementării RA. S-au evaluat următoarele echipamente:
- Echipamente de vizualizare a RA

- Echipamente pentru urmărirea și detectarea mediului real
- Echipamente pentru interacțiunea utilizatorului cu informațiile digitale
- Software-uri pentru implementarea RA
- În concluzie s-au analizat limitările prezente pe care le are RA

Contribuții practice:

- S-au testat experimental echipamentele necesare utilizării RA după cum urmează:
- Au fost testate și calibrate echipamente de captură video
- A fost testat, calibrat și programat pentru a fi utilizat pentru RA un senzor pentru detecția mișcărilor utilizatorului
- Au fost testate mai multe metode de urmărire și detecție a mediului real
- Au fost testate și utilizate mai multe software-uri de implementare a RA
- Au fost testate mai multe echipamente de vizare a RA
- Au fost concepute și utilizate module de aplicații cu RA care asistă în procesul de dezvoltare al produselor. Aplicațiile realizate sunt:
- RA utilizată pentru instruirea CAD
- RA utilizată pentru instruirea CAM
- RA utilizată pentru instruirea operatorilor pe MUCN
- RA aplicată pe o linie de fabricație flexibilă FESTO
- RA utilizată pentru procesul de asamblare al unei remorci
- RA utilizată pentru procesul de asigurarea al calității
- RA utilizată pentru facilitarea programării roboților industriali
- RA utilizată pentru afișarea rezultatelor analizelor cu elemente finite
- RA utilizată în marketing
- Aplicațiile RA realizate au fost evaluate prin chestionarea a 76 de utilizatori privind gradul de satisfacere a acestora
- A fost concepută și realizată o platformă colaborativă on-line pentru dezvoltarea produselor care poate fi găsită la adresa: <http://webspacespace.ulbsibiu.ro/radu.petrușe/>
Această platformă utilizează RA pentru a facilita procesul de dezvoltare al produselor.
- Evaluarea platformei colaborative printr-un studiu de caz