

Campusul de realitate mixtă 3DUPB - o perspectivă asupra felului în care mediile de realitate mixtă pot modela viitorul

Alin Moldoveanu, Anca Morar, Victor Asavei

Universitatea POLITEHNICA din București – UPB

Splaiul Independenței nr. 313, sector 6, București, 060042

E-mail: alin.moldoveanu@cs.pub.ro; anca.morar@cs.pub.ro; victor.asavei@cs.pub.ro

Rezumat. Combinând concepte și tehnici din jocurile 3D MMO, realitatea virtuală, realitatea mixtă și ubiquitous computing, proiectul 3DUPB provoacă modurile tradiționale de realizare a activităților și interacțiunilor interumane și om-calculator de zi cu zi. În câteva cuvinte, ca sistem IT, poate fi descris ca "Replica virtuală 3D MMO și în timp real a Universității POLITEHNICA din București". Privind însă din puncte de vedere conexe (educațional, social, organizațional), 3DUPB va fi mai mult decât un sistem IT clasic, deschizând noi posibilități de a desfășura activitățile și interacțiunile corespunzătoare - oferind o perspectivă despre cum sistemele de realitate mixtă pot modela viitorul. Această lucrare prezintă principalele motive pentru care acest proiect a fost inițiat cu câțiva ani în urmă, conceptul lui actualizat, relația cu alte sisteme, arhitectura software generică, principalele provocări tehnice și soluții pentru ele, împreună cu perspectivele de evoluție. Modul de prezentare evită intrarea în detalii excesiv tehnice, dorindu-se diseminarea ideii proiectului 3DUPB către publicul larg.

Cuvinte cheie: MMO, realitate mixtă, medii educaționale virtuale, medii sociale virtuale

1. Introducere

În multe situații, există o întârziere de ani sau chiar decade între apariția unor concepte și materializarea lor tehnologică, pe scară largă.

Spre exemplu, puțini știu că aspectele de ubiquitous computing (ubicomp) adoptate recent pentru uz larg prin intermediul tehnologiilor și telefoanelor "inteligente" (smartphone) sunt de fapt concepte vechi de mai mult de 20 de ani, propuse de Weiser (1991, 1993) și analizate detaliat în anii '90 (Araya, 1995).

Similar, realitatea virtuală (RV) are rădăcini și mai vechi, dinaintea primelor simulatoare create în anii 1960-1980, Same, sau a sistemului Sabia lui Damocles propus de Sutherland's, în fapt, precedând din punct de vedere

conceptual chiar era calculatoarelor. Încă din anii 90, realitatea virtuală era un domeniu bine conturat (Mazuryk & Gervautz, 1996), dar abia în prezent desfășoară tranziția de la aplicații dedicate în domenii cum ar fi cel militar sau medical către aplicații diverse dedicate unui număr larg de consumatori. Acest lucru se datorează în principal evoluțiilor tehnologiilor suport (vizualizare, audio, haptice, echipamente de tracking, etc.) dar și familiarizării unui număr mare de utilizatori cu conceptele de bază specifice (lumi și obiecte virtuale, avatare, posesiuni și economii virtuale, etc.) - în special prin intermediul jocurilor pe calculator, mai ales de tip MMORPGs (Moldoveanu et al, 2011), dar și a industriei cinematografice (M. Mine, 2003) și literaturii. Jocurile MMO (massive multiuser online), spre exemplu, au ajuns să fie o parte integrantă a culturii tinerei generații, cu aspecte pozitive și negative (Caplan et al 2009). Aceste jocuri, ce prezintă o formă aparent simplă a realității virtuale, reprezintă în fapt o experiență inedită, cu un grad de imersiune extrem de ridicat, ce adesea îl depășește pe cel al aplicațiilor de realitate virtuală clasice.

Aceste două paradigme aparent distincte de interacțiune om-calculator, RV și ubicomp, până de curând puțin cunoscute și considerate exotice, devin uzuale în ziua de astăzi, iar punctul lor de întâlnire - aplicațiile de realitate mixtă - extrag avantajele distincte din fiecare dintre ele.

Puțini dezvoltatori sunt conștienți de scara largă a aplicațiilor ce pot rezulta din mixarea acestor tehnologii: un model 3D MMO poate funcționa cu ușurință ca model unificator pentru multe resurse (echipamente) de tip ubiquitous, în același timp funcționând ca o interfață de acces de la distanță, global, către conținutul spațiului real pe care aceste echipamente îl populează.

Noutatea și imaturitatea tehnologiilor, în special la nivelul librăriilor software, al uneltelor de dezvoltare rapidă de aplicații (RAD) al standardizării (Morgan, 2009; Kriegel et al, 2009) și costului serviciilor specifice (Asavei et al, 2010), fac astfel de integrări dificil de conceput și mai dificil de realizat ().

Una dintre aceste soluții de integrare emergente este prezentată în această lucrare. Proiectul 3DUPB este extrem de ambițios, din numeroase puncte de vedere:

- tehnic, provocarea este de a crea o replică virtuală actualizată în timp real a unui mediu real complex și extrem de dinamic (un campus universitar);

- organizațional, oportunitatea și provocarea este de a face uz optim de această posibilă nouă infrastructură tehnică pentru a îmbunătăți, simplifica și face cât mai accesibile activitățile și serviciile din campus;
- la nivel social, este o experimentare a unor noi moduri de cooperare și interacțiune socială într-un mediu mixt (real și virtual)
- educațional, sunt deschise noi posibilități de învățământ electronic și la distanță, cu interconectivitate și scalabilitate intrinseci, cu un grad de imersiune superior tuturor abordărilor anterioare și cu numeroase cazuri de utilizare și scenarii ce rămân a fi explorate și rafinate.

Structura acestei lucrări este următoarea:

- paragraful "Concepția proiectului" prezintă modul în care a apărut ideea 3DUPB, detaliază funcționalitatea prevăzută și motivația din punct de vedere al universității noastre;
- paragraful "Cercetări conexe" identifică diverse proiecte ce abordează funcționalități sau concepte importante din 3DUPB;
- paragraful "Arhitectura sistemului" prezintă soluția tehnică la nivel de proiectare arhitecturală generică, urmată de o analiză comparativă tip SWOT a posibilelor librării sau tehnologii ce pot fi folosite pentru implementarea concretă;
- paragraful "Aspecte interdisciplinare" explică noile posibilități deschise de un astfel de sistem de realitate mixtă de scară largă, împreună cu dificultățile lor de realizare, din punct de vedere teoretic și practic
- În paragraful "Concluzii" sintetizăm ideile principale din paragrafele anterioare și indicăm evoluția așteptată pentru sistemul 3DUPB

2. Concepția proiectului

3D UPB a fost proiectat ca platformă socială și educațională pentru universitatea noastră, făcând uz de cele mai noi tehnologii din domeniul jocurilor 3D, rețelelor de calculatoare și senzori și socializări online. Proiectul a fost început în anul 2010 și a evoluat gradual până în prezent, atât din punct de vedere tehnic (devenind focalizat în jurul conceptelor de MMO, reproducere în timp real a unui mediu real complex în mediu virtual

și extensibilitate) cât și interdisciplinar-aplicativ (integrând noi cazuri de utilizare de la numeroase categorii de actori: educaționali, organizaționali și sociali).

2.1 Categorii de utilizatori

3DUPB va avea următoarele tipuri de utilizatori:

- *studenți*
 - studenți ai universității
 - studenți de la alte universități având campusuri virtuale similare interconectate
- *profesori*
- *vizitatori*
 - elevi de liceu sau studenți de la alte universități fără campusuri virtuale interconectate
- *administratori*
- *agenți software inteligenți (boti)*

2.2 Funcționalitatea sistemului

Setul initial de funcționalități a fost modificat și extins, ajungând în prezent să acopere următoarea listă:

- *3DUPB este un spațiu virtual 3D MMO*
 - acest spațiu include obiecte 3D, definite prin forma lor geometrică, textura și, în anumite cazuri, animații asociate; exemple pot fi obiecte simple (cuburi, sfere, triunghiuri, etc.), obiecte complexe (e.g. *meshuri* - plase poligonale 3D), obiecte speciale (avataruri animate, vegetație, teren, simulări de precipitații etc.)
 - fiecare user accesează sistemul pe baza unui cont (user+parola);
 - fiecare user este reprezentat în mediul 3D printr-un avatar personalizabil;
 - utilizatorii se văd reciproc (i.e. își văd avatarele) și pot interacționa (prin intermediul avatarelor) în mediul 3D;

- mișcările avatarelor și interacțiunea lor se petrec în timp real (i.e. durata de timp dintre o comandă dată de un utilizator și percepția efectelor acelei comenzi, de către acel utilizator precum și de către ceilalți utilizatori, este neglijabilă);
 - massive multiuser: sistemul trebuie să fie capabil să suporte accesul și interacțiunea simultan a zeci de mii de utilizatori;
 - online, client-server: utilizatorii vor accesa funcțiile sistemului printr-o aplicație "client", ce se va conecta la serverele sistemului prin internet.
- *Modelare 3D de înaltă acuratețe a mediului înconjurător:*
- clădirile din campus (atât formele exterioare cât și interioarele);
 - terenul;
 - vegetația;
 - împrejurimile.
- *Urmărire în timp real a stării campusului real și a evenimentelor semnificative și reproducere în timp real a lor în mediul virtual.*
- Nota: pentru simplitate vom numi în continuare sistemul 3DUPB ca modelul "virtual" al campusului, spre deosebire de mediul fizic, pe care îl vom numi "real". Trebuie notat ca aceasta reprezintă doar o simplificare a exprimării pentru a ușura exprimarea și lectura; trebuie reținut că în cadrul 3DUPB aspectele real și virtual se întrepătrund.
- *Urmărirea și redarea în mediul virtual va acoperi următoarele elemente:*
- detecția poziției și activităților persoanelor, atât în exteriorul cât și în interiorul clădirilor; actualizarea automată a poziției și stării avatarului lor;
 - detecția (poziție, mișcare) altor obiecte relevante (e.g. vehicule);
 - monitorizarea și modelarea a diverse categorii de evenimente relevante: cursuri, laboratoare, conferințe, expoziții, serbări, etc;
 - transmisie audio-video *live* din locațiile unde aceste evenimente se desfășoară, pe "pereți" dedicați plasați în locuri corespunzătoare în cadrul campusului virtual.

- *Profiluri utilizator complexe, incluzând atât aspectele academice cât și elemente opționale, cum ar fi hobby-uri:*
 - informațiile de profil vor fi completate pe cât este posibil în mod automat, prin agregarea informațiilor disponibile în diverse surse (e.g. sistemul de e-learning al universității, profiluri de Facebook, Google, etc.);
 - utilizatorii vor avea posibilitatea să ajusteze informațiile completate automat și să adauge altele noi;
 - utilizatorii vor putea efectua căutări ale altor utilizatori, pe baza unor criterii corespunzătoare câmpurilor din profil;
 - fiecare utilizator va avea specificat un profil de "potrivire" (*matching profile*) ce include criterii ce specifică ce alți utilizatori îi sunt de interes; atunci când utilizatorul este activ în cadrul mediului virtual, sistemul va efectua căutări dinamice în rândul celorlalți utilizatori online, pe baza acestui profil de potrivire, și îl va informa pe utilizator de potrivirile detectate; informarea se va face într-un mod care să nu îl distragă pe utilizator de la activitățile curente în mediul virtual și va utiliza posibilitățile interfeței 3D - spre exemplu atașând simboluri speciale avatarelor utilizatorilor rezultați în urma căutării.
- *Extensibilitate:*
 - din punct de vedere al conținutului (datelor):
 - utilizatorii vor avea posibilitatea de a adăuga noi obiecte în campusul virtual, sau a modifica obiecte existente, conform drepturilor alocate de către administrator; spre exemplu, un profesor va putea edita sala de curs sau laborator pentru materia sa;
 - fiecare utilizator va avea o cameră personală pur virtuală - fără corespondență în campusul real; utilizatorul poate decora această cameră pentru a-și prezenta preocupările și o va putea folosi pentru a socializa cu prietenii;
 - adăugarea/ștergerea/modificarea de obiecte se va face în timp real, efectele fiind imediat vizibile în mediul virtual de către toți utilizatorii aflați în zona; acest lucru se va face prin funcții dedicate de editare 3D integrate în aplicația client;

- din punct de vedere al funcționalității: sistemul va oferi un API (interfață de programare) prin intermediul căruia utilizatorii pot programa noi funcții, extinzând funcționalitatea de bază a sistemului; noile funcții pot acoperi o gamă largă, de la automatizări simple ale avatarului până la integrarea de noi sisteme în cadrul 3DUPB; API-ul va permite fiecărui utilizator (în funcție de drepturile alocate de către administrator):
 - să inspecteze starea de timp-real a campusului virtual, obținând o listă de obiecte virtuale conform unor criterii specificate, spre exemplu vecinătatea spațială: e.g. obiecte pe o rază de 10 m în jurul avatarului; de asemenea, să inspecteze diversele atribute ale acestor obiecte;
 - să trimită comenzi către sistem pentru a modifica programatic mediul virtual (e.g. pentru a-și deplasa în mod automat avatarul).

2.3 Necesitatea sistemului

Principalele motive pentru care universitatea noastră a considerat oportună dezvoltarea și integrarea 3DUPB sunt:

- *Stimularea socializării și colaborării la scara universității*
 - UPB este o universitate mare, cu multe facultăți având o locație fizică distinctă în cadrul campusului; gradul actual de cunoaștere reciprocă între membrii diverselor facultăți este foarte redus, într-o anumită măsură datorită distanțelor fizice dintre facultăți, a lipsei unor locuri de socializare dedicate și a lipsei de cursuri cu participare comună a studenților de la mai multe facultăți
 - ca spațiu virtual unitar, 3DUPB va ajuta la spargerea acestor bariere de cunoaștere și comunicare
 - este de așteptat ca această eliminare a barierelor să sporească pregătirea interdisciplinară a studenților și să ducă la un număr mai mare de proiecte de cercetare interdisciplinare
- *Crearea unei prezențe online moderne, complexe și transparente*
 - acest lucru este necesar pentru a oferi tuturor celor interesați de UPB (în special elevilor de liceu) o imagine cât mai amplă despre

activitățile educaționale și de cercetare din UPB, îmbunătățind, prin informare transparentă, imaginea universității noastre

- *Crearea unui serviciu de prezentare puternic (integrare, vizualizare și interacțiune) pentru o gamă largă de servicii și aplicații.*
- *Implementarea, testarea și rafinarea unor concepte și scenarii noi în educația la distanță.*
- *Pe baza experienței dobândite cu 3DUPB, va fi dezvoltată o platformă (unelte, proceduri) care să permită oricărei universități crearea rapidă a unui campus virtual similar*
- *Va fi stabilită o rețea de campusuri virtuale, ce va permite studenților să asiste la cursuri la alte universități și să cunoască studenți sau cadre didactice cu preocupări similare*

3. Tehnologii înrudite

Concepția 3DUPB reprezintă convergența unor tehnologii actuale de vârf, prevăzută la un mod general de Ahonen & O'Reilly (2007) și ulterior de Aldrich (2009). În acest paragraf ne propunem să prezentăm cititorului, într-un mod concis, pe cele mai importante dintre acestea, pentru a facilita înțelegerea sistemului nostru.

3.1 Jocurile MMORPG

Jocurile de tip Massive Multiplayer Online Role Playing Games (MMORPG) au în prezent un număr impresionant de utilizatori. Acestea se desfășoară online pe internet, având ca suport o lume virtuală persistentă la care sunt conectați și în cadrul căreia interacționează simultan mii și chiar zeci de mii de utilizatori.

O lume persistentă este o lume virtuală online care continuă să „funcționeze” chiar și atunci când utilizatorul se deconectează și nu mai participă la acțiunea din lumea virtuală. Aceste lumi virtuale au de obicei o temă ficțională, puternic influențată de fantasy, science-fiction, legende și mituri sau istorie. Jucătorul intră în rolul unui personaj fictiv și apoi controlează acțiunile acestuia. Personajul fictiv reprezintă „avatarul” utilizatorului. Jocurile de tip MMORPG oferă jucătorilor posibilitatea îndeplinirii unor anumite sarcini cu obiective bine definite.

Din punct de vedere istoric, jocurile MMORPG își au originea în jocurile de tip MUD (Multi-User Dungeon) din anii 70-80. Acestea erau jocuri multiplayer în care spațiul virtual era descris în totalitate în mod text iar jucătorii interacționau cu acesta și între ei introducând comenzi tot în mod text. Adevărata explozie a jocurilor de tip MMORPG a avut loc însă spre sfârșitul anilor 90 odată cu răspândirea și accesul la internet pentru utilizatorii de rând precum și cu dezvoltarea capacităților de redare grafică a calculatoarelor. Jocul care poate fi considerat ca fiind primul MMORPG modern a fost *Ultima Online* și împreună cu *Everquest* și *Asheron's Call* a contribuit semnificativ la răspândirea acestor tipuri de jocuri. Astfel, în prezent avem un număr foarte mare de jocuri de tip MMORPG dintre care cele mai semnificative sunt : *Lineage 2*, *Eve Online*, *Guild Wars*, *Lord of The Rings Online*, *Star Wars : The Old Republic* și nu în ultimul rând *World of Warcraft*. *World of Warcraft* este poate cel mai cunoscut joc de tipul MMORPG existent în prezent. Cu un număr de jucători activi ce a depășit în perioada de maximă utilizare 10 milioane, se poate spune că este de asemenea și cel mai de succes MMORPG din istoria acestui tip de joc.

Principalul atu al unui joc de tip MMORPG este dat de numărul mare de utilizatori pe care îl poate suporta simultan. Aceasta este principala caracteristică prin care se diferențiază de aplicațiile single-user / multiplayer care simulează o lume virtuală 3D.

Sunt remarcabile gradul de implicare (imersiune) al utilizatorilor în acest tip de jocuri, precum și conexiunile cu diferite aspecte ale lumii reale (economic, social, cultural, psihologic etc.), toate, ilustrate foarte bine de Castranova în numeroasele sale cărți și articole (2001, 2003, 2006).

Problemele cu care se confruntă în prezent majoritatea jocurilor de tip MMORPG sunt legate de scalabilitate și cost. Arhitectura cea mai des întâlnită folosită de jocurile MMORPG este în prezent cea Client-Server. Costurile mari introduse de arhitectura Client-Server limitează practic scalabilitatea acesteia, fiind necesară împărțirea spațiului virtual în mai multe instanțe. De asemenea, pentru a obține un nivel de performanță care să facă față unui număr mare de utilizatori, producătorii spațiilor virtuale MMO se confruntă cu un cost financiar semnificativ pentru a menține infrastructura sistemului funcțională.

3.2 Mediile de socializare online

Mediile de socializare online au cunoscut o creștere semnificativă în ultimii ani ajungând în prezent să fie accesate și folosite de un număr de utilizatori de ordinul sutelor de milioane devenind un mod important prin care utilizatorii interacționează cu mediul online.

Marea majoritate a mediilor de socializare online folosesc tehnologii web și pun la dispoziție mijloacele prin care persoanele pot să partajeze pe internet ideile, informațiile și alte lucruri pe care le consideră importante cu prietenii lor.

Mediile de socializare online au următoarele caracteristici importante comune : permit utilizatorilor să își creeze un profil prin care se identifică și apoi să îl publice, permit utilizatorilor să identifice alți utilizatori cu care au anumite puncte comune (cunoștințe, interese, etc) și permit ca legăturile dintre utilizatori să fie folosite pentru navigarea în cadrul bazei de utilizatori a mediului.

Din punct de vedere istoric, sisteme primitive de medii de socializare online ce au folosit comunicația electronică prin intermediul calculatorului au existat încă din anii 70-80 odată cu apariția sistemului de discuții pe internet *Usenet* și a mediilor de tip „bulletin board system” (BBS) însă acestea erau limitate din punct de vedere al funcționalităților oferite.

Similar ca și în cazul jocurilor de tip MMORPG, răspândirea și dezvoltarea mediilor de socializare online moderne a avut loc în anii 90 și 2000 odată cu dezvoltarea tehnologiilor internet și web. Primul mediu de socializare online modern este considerat a fi *SixDegrees.com* apărut în anul 1997, iar în prezent există un număr important de medii de socializare online cele mai importante fiind : *Google+*, *Twitter*, *LinkedIn*, *MySpace* și nu în ultimul rând *Facebook* care este cel mai de succes astfel de mediu cu un număr de utilizatori ce depășește 700 de milioane.

Avantajele mediilor de socializare online sunt reprezentate de faptul că acestea permit unui număr foarte mare de utilizatori să comunice în mediul online prin intermediul tehnologiilor web moderne care oferă un grad ridicat de interactivitate (mesagerie instant, e-mail, jocuri de tip browser, etc). Totuși, o dată cu Creșterea numărului de utilizatori, mediile de socializare online se confruntă la rândul lor cu probleme de scalabilitate și cost legate de infrastructura sistemului. O altă problemă ce nu trebuie neglijată și care în ultimul timp a luat amploare este cea a securității și a folosirii datelor

utilizatorilor în diverse scopuri chiar de către furnizorii mediilor de socializare online.

3.3 Spațiile virtuale de socializare

După jocurile MMORPG, spațiile virtuale online de socializare sunt în prezent cea mai răspândită categorie de aplicații ce includ elemente de realitate virtuală.

Acestea sunt focalizate în principal pe componenta de socializare decât pe cea de competiție/joc și oferă o experiență prietenoasă, lipsită de aspecte competitive. Spațiile virtuale de socializare sunt influențate puternic de cultura chatului și a blogurilor care este bazată în principal pe scris și conținut multimedia (imagini, videoclipuri).

Deși spațiile virtuale de socializare pot include mini-jocuri ca mijloc de interacțiune socială, participanții nu urmăresc competiția, să joace și să câștige, ci să socializeze/comunice cu ceilalți și în multe cazuri, să creeze sau să decoreze un spațiu personal precum o casă, cameră sau apartament – ca mijloc de manifestare, exprimare.

O lume virtuală destinată socializării propune o versiune idealizată și simplificată a realității. Majoritatea spațiilor virtuale de acest tip pun la dispoziția utilizatorilor instrumente prin care pot construi / adăuga conținut și pot gazdui acțiuni și evenimente în jurul unei largi varietăți de subiecte.

Cele mai cunoscute spații virtuale de socializare sunt în prezent *Active Worlds*, *Entropy Universe* și *Second Life* care este în prezent una dintre cele mai fascinante și răspândite lumi virtuale 3D. De la lansarea sa din 2003, *Second Life* a cunoscut o dezvoltare spectaculoasă ajungând ca în prezent peste 21 de milioane de conturi de utilizatori să fie create. Cea mai importantă caracteristică a *Second Life* este schimbarea și dezvoltarea permanentă a spațiului virtual iar activitatea principală este construirea de obiecte interactive. Acestea pot fi apoi donate sau vandute pentru a obține Dolari Linden, moneda oficială a spațiului virtual, lunar tranzacționându-se echivalentul a milioane de dolari US .

3.4 Experimente de realitate mixtă

Realitatea mixtă este alcătuită dintr-un amestec de realitate, realitate augmentată, virtualitate augmentată și realitate virtuală. Aplicațiile de

realitate mixtă își propun combinarea informațiilor disponibile în lumea virtuală cu cele din lumea reală pentru a obține noi medii hibride și modalități de vizualizare unde obiectele virtuale coexistă și interacționează cu cele reale.

Milgram & Kishino (1994) au definit realitatea mixtă ca fiind oriunde între extremele continuumului realitate-virtualitate.



Figura 1: Continuumul Realitate – Virtualitate (Sursa : Milgram et al. 1994)

La un capăt al continuumului se află lumea reală, iar la capătul celălalt se află mediile virtuale care sunt în întregime simulate pe calculator. Realitatea augmentată se află undeva între, fiind o combinație a celor două medii, real și virtual.

După cum se vede și în Fig. 1, la marginea din stânga se află lumea fizică fără nici o informație virtuală. Deplasându-ne către dreapta găsim realitatea augmentată unde obiectele artificiale, virtuale sunt adăugate lumii fizice. În continuare spre partea dreaptă a continuumului se află virtualitatea augmentată unde obiecte din lumea fizică (cum ar fi de exemplu un flux video de la o cameră) sunt adăugate într-un mediu virtual. La capătul drept al continuumului se află mediul virtual complet simulat fără a avea nici o informație adăugată din lumea reală.

Realitatea mixtă poate fi astfel definită ca o combinație a realității augmentate și a virtualității augmentate.

Cele mai răspândite și cunoscute tipuri de aplicații ce utilizează conceptul de realitate mixtă sunt cele de tipul mobile mixed reality (MMR – realitate mixtă pentru dispozitive mobile). În mod uzual, o aplicație de acest tip utilizează camera video a unui dispozitiv mobil și adaugă la fluxul video astfel obținut diverse elemente grafice cu informații suplimentare. În prezent aplicațiile de realitate mixtă mobile au făcut saltul de la stadiul de concept de cercetare la aplicații comerciale deja disponibile cum ar fi *Layar*, *Wikitude* și mult așteptatul *Google Glasses*.

Un alt tip de aplicație de realitate mixtă ce se cercetează în prezent este adresată învățării la distanță prin simularea de laboratoare virtuale.

Arhitectura unui astfel de laborator virtual presupune existența unuia sau a mai multor dispozitive fizic care sunt conectate la un mecanism de control local care poate fi accesat pe internet, al unui middleware și a unei aplicații client. Astfel utilizatorii aflați la distanță utilizează aplicația client pentru a controla dispozitivele fizice, mișcările acestora și rezultatele operațiilor efectuate fiind reprezentate grafic în mediul virtual simulat de către aplicația client.

Pe măsură ce tehnologiile vor evolua este posibil ca acest tip de aplicație de realitate mixtă să devină foarte răspândit în viitorul apropiat.

4. Arhitectura sistemului

În acest paragraf explicăm principalele provocări arhitecturale pentru realizarea 3DUPB, prezentăm o arhitectură generică și în final analizăm diferite posibilități de realizare bazate pe librării și componente existente.

4.1 Principalele provocări arhitecturale

Spre deosebire de alte tipuri de aplicații, în care fluxul de lucru este inițializat și condus de către un singur utilizator, spațiile virtuale suportă interacțiuni complexe, care implică mai mulți utilizatori în același timp. Acțiunile unui utilizator individual și efectele acestora, calculate de către server, trebuie să fie propagate în timp real, către toți cei afectați de acestea. Spre exemplu, pentru o simplă mișcare a unui avatar, secvența de prelucrare este următoarea:

- prin intermediul aplicației client, utilizatorul comandă mișcarea, cu ajutorul mouse-ului sau tastaturii
- comanda este transmisă la server
- serverul calculează efectele comenzii
- efectele sunt transmise către toți utilizatorii din vecinătate
- clientul fiecărui utilizator din vecinătate actualizează poziția avatarului mișcat și eventual alte efecte ale mișcării

Pasul "serverul calculează efectele comenzii" este în general extrem de intensiv computațional, necesitând verificarea respectării faptului că mișcarea respectivă (sau comanda, în general) respectă regulile logice (e.g.

drepturi de acces) și fizice (e.g. gravitație, frecare, coliziuni) ale mediului virtual.

Toate aceste prelucrări trebuie efectuate pentru acțiunile tuturor utilizatorilor, ce se petrec în paralel, ducând la o încărcare computațională cumulată foarte mare asupra serverului, ce crește în funcție de numărul de utilizatori. Creșterea este mai mult decât liniară, în general fiind o combinație între $O(n \log n)$ și $O(n)$, în funcție de natura interacțiunilor din mediul virtual. Acest lucru vine în contradicție cu dorința de a avea un număr cât mai mare de utilizatori pentru astfel de medii virtuale, fapt descris pe larg de Waldo (2008).

Provocarea este de a găsi o arhitectură software-hardware ce permite efectuarea tuturor acestor calcule în timp real (Waldo, 2008): orice întârziere mai mare de zecimi de secundă între momentul în care un utilizator dă o comandă (e.g. de deplasare a avatarului) și momentul în care percepe efectele acestei comenzi creează ceea ce este numit informal de către utilizatorii de medii virtuale ca "lag" - un fenomen ce reduce dramatic imersiunea și participarea utilizatorilor.

Apreciem că nu există încă o soluție care să rezolve în mod perfect aceste aspecte contradictorii: necesitatea pentru scalabilitate (număr cât mai mare de utilizatori) și necesitatea pentru reacții ale sistemului în timp real.

4.2. Soluția arhitecturală generică

Abordarea noastră pentru această problemă se bazează pe ideea decompoziției spațiale. Această idee împarte gestiunea mediului virtual în regiuni distincte, într-un mod ce are ca efect pozitiv reducerea efortului computațional și de asemenea posibilitatea de a distribui acest efort pentru prelucrare paralelă pe mai multe unități de procesare (procesoare sau computere) diferite.

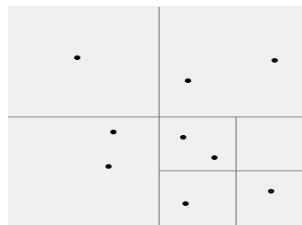


Figura 2: Decompoziție spațială de tip Quad-tree

Principala încărcare computațională fiind generată de utilizatori (prin intermediul avatarelor) și de alte obiecte active din mediul virtual, aceste elemente active vor fi distribuite pe zone geometrice, așa cum este ilustrat în Fig. 2.

În momentul în care numărul de obiecte active dintr-o zonă devine mai mare decât un prag stabilit, acea zonă va fi împărțită în subzone. Similar, când numărul de elemente din mai multe subzone scade sub prag, acestea pot fi reunite. Există diverse modalități de a efectua decompoziția: statică, dinamică, în zone predefinite sau nu, automată sau manuală, etc. În Fig. 2 este ilustrată o decompoziție dinamică bazată pe arbori cuadrici, cu un prag de 2 elemente active pe regiune (strict exemplificativ, în practică pragurile fiind mult mai mari).

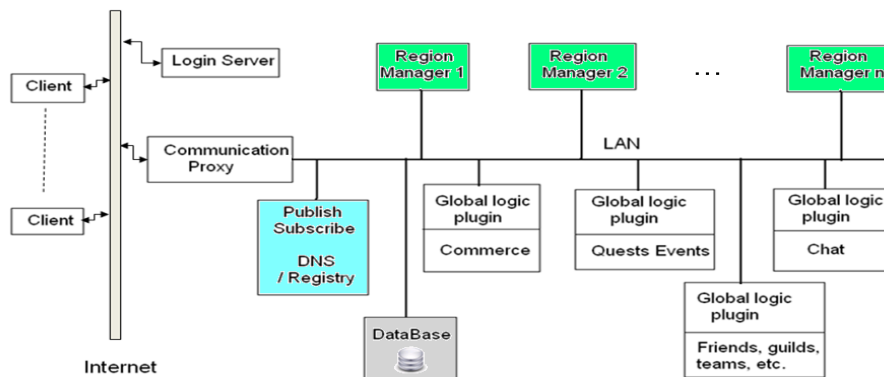


Figura 3: Arhitectură generică pentru 3DUPB cu scalabilitate bazată pe decompoziție spațială

Prin decompoziție, indiferent de modalitatea în care este efectuată, se obțin următoarele avantaje esențiale:

- se poate reduce numărul de calcule efectuate, ținând cont ca fiecare utilizator interacționează doar cu utilizatorii din proximitatea sa (gestionați de aceeași regiune sau cel mult de regiunile vecine);
- se poate paraleliza calculul, fiecare regiune fiind distribuită unei unități de prelucrare; o soluție inedită a fost propusă de Moldoveanu (2008) și explorată ulterior în (Asavei et al, 2011).

Dezavantajele acestei soluții sunt faptul ca necesită o arhitectură software-hardware complexă pentru punerea în practică. De asemenea vor fi necesare un număr suplimentar de operații de calcul pentru operațiile de

divizare/reunire, păstrarea coerenței datelor de granița între regiuni, etc. așa cum este detaliat de Moldoveanu (2008). Aceste dezavantaje sunt semnificative dar totuși divizarea spațială rămâne singura alternativă de scalabilitate pentru mediile virtuale.

O arhitectură generică bazată pe acest principiu este ilustrată în Fig. 3:

4.3. Soluții de implementare

Complexitatea unui sistem 3D MMO este similară cu a unui sistem de operare modern. Tehnologia specifică este încă incipientă și evoluează extrem de încet deoarece companiile din domeniu preferă să păstreze secretul asupra soluțiilor lor tehnice. Conform unor estimări, costurile dezvoltării unor astfel de sisteme au depășit adesea 10 milioane \$, așa cum este prezentat în Carpenter (2003). Aceste costuri pot fi însă mult reduse în prezent, prin utilizarea unor librării ce pot prelua o parte din funcțiile unor componente arhitecturale generice.

Aceste librării pot fi încadrate informal în două categorii:

- de granularitate mică - acoperind o parte restrânsă din necesarul de funcționalități; astfel de librării pot fi spre exemplu motoare grafice, motoare de fizică, motoare audio, librării de comunicație etc; cele mai multe dintre acestea sunt relativ mature tehnologic
- de granularitate ridicată - acoperind aspecte mai largi din necesarul de funcționalitate al 3DUPB; spre exemplu există în prezent chiar librării ample ce suportă, în diverse modalități, necesitățile 3D MMO integrate; aceste tehnologii sunt însă imature, cu performanțe discutabile din punct de vedere scalabilitate și fiabilitate

Evaluarea, selecția și utilizarea acestor librării pentru a dezvolta 3DUPB într-un mod eficient din punct de vedere economic a reprezentat o adevărată provocare tehnologică.

Fără a intra în detaliile de realizare efectivă, menționăm aici doar principiile pe care le-am avut în vedere pe parcursul proiectării și a dezvoltării:

- consideram ca viitorul spațiilor virtuale MMO, așa cum se discuta și în Ariane's Life in the Metaverse (2011) nu va fi în interiorul sistemelor proprietare închise (e.g. Second Life, Multiverse - discutat în Multiverse Platform Architecture (2011), etc); din acest motiv am evitat orice sistem mai mult sau mai puțin închis din punct

de vedere al posibilităților de dezvoltare - atât din punct de vedere tehnic (API) cât și din punct de vedere al licențelor;

- apreciem ca rețeaua de spații virtuale 3D a viitorului (web 3D) va evolua asemănător web-ului actual, sub forma unei rețele descentralizate de spații virtuale, interconectate; din acest motiv am favorizat soluțiile cu grad ridicat de flexibilitate și de adaptare la standardele emergente;
- proiectarea detaliată a interacțiunilor a avut în permanență în vedere principii importante specifice realității virtuale (Craig, 2009) și aplicațiilor internet (Morgan, 2009).

4.4. Elemente și sisteme conexe

În acest subparagraf vom trece sumar în revista diverse elemente și sisteme conexe, cu rol auxiliar pentru funcționarea 3DUPB.

4.4.1. Crearea modelelor 3D pentru campusul virtual

Modelele 3D ale obiectelor, compuse din plase poligonale ("mesh"-uri) împreună cu texturile atașate, vor fi obținute în 2 moduri distincte:

- plecând de la planurile arhitecturale ale clădirilor, suplimentate cu măsurători și fotografii, prin modelare manuală în programe dedicate, cum ar fi 3DMax sau Maya; în acest mod vor fi obținute modele extrem de detaliate și de înaltă acuratețe;
- prin tehnici de fotogrametrie de proximitate ("close range photogrammetry"); deși această metodă este mult mai rapidă și necesită mai puține resurse, rezultatele produse nu sunt de calitate extrem de ridicată și, de asemenea, nu poate fi utilizată în toate cazurile (e.g. zone ale unei clădiri obturate de diverse obiecte).

Până în prezent, au fost create modele detaliate ale Facultății de Automatică și Calculatoare și Rectoratului UPB, prin prima metodă, și modele de fotogrametrie ale exterioarelor tuturor facultăților din campus.

4.4.2. Obținerea de informații în timp real despre locația persoanelor

Achiziția în timp real a informației despre poziția fiecărei persoane poate fi realizată în numeroase moduri, fiecare având aplicabilități, avantaje și

dezavantaje distincte:

- pe baza informațiilor de locație GPS obținute de la dispozitive mobile (identificare și precizie doar în exteriorul clădirilor);
- utilizând localizarea prin triangularizare față de stațiile fixe wireless (precizie extrem de redusă);
- utilizând tehnologii RFID (precizie acceptabilă și în interiorul clădirilor dar necesită investiții substanțiale);
- prin analiza imaginilor de la camere de supraveghere (identificare problematică; nu sunt acoperite toate locațiile);
- prin coduri numerice sau QR aplicate în locațiile de interes (e.g. bănci, birouri etc.).

4.4.3. Obținerea altor categorii de informații despre starea campusului

- condițiile meteorologice din campus (luminozitate, vizibilitate atmosferică, precipitații, vânt, etc.) pot fi obținute de la servere dedicate sau introduse manual de către utilizatori cu drepturi speciale;
- locațiile vehiculelor pot fi obținute, cu suficientă acuratețe, analizând în timp real fluxurile video obținute de la un număr mare de camere de supraveghere și combinându-le într-un model unitar;
- orariile pot fi obținute prin integrare cu sistemul de e-learning al universității;
- informații despre evenimente speciale vor fi introduse manual de către utilizatori.

5. Aspecte interdisciplinare

Aspecte educaționale

Scopul pe termen lung al acestui proiect este de a duce la formarea unor rețele de campusuri virtuale ce vor reflecta în timp real starea universităților corespunzătoare. Studenții vor putea participa, virtual, la cursurile oferite de fiecare universitate din această rețea. Este o nouă formă de învățământ la

distanță, bazată pe realitate mixtă, cu grad îmbunătățit de imersiune. Numeroase aspecte ținând de desfășurarea lecțiilor în medii de realitate mixtă vor trebui analizate, implementate și rafinate experimental.

Aspecte sociale

Este de remarcat că un astfel de experiment de realitate mixtă pe scară largă nu a mai fost efectuat, nici în context educațional nici în alte activități. Interacțiunea socială virtuală diferă substanțial de cea reală, influențată de modalitățile diferite de percepție, manifestare și conduită.

Modul în care cele 2 tipuri de relații umane se vor combina, rezolvarea diferitelor probleme ce pot apărea și stimularea colaborării vor reprezenta subiecte importante de cercetare.

6. Concluzii

Concepția 3DUPB reprezintă convergența unor tehnologii actuale de vârf.

Dezvoltarea 3DUPB ca sistem IT a pus numeroase probleme tehnice, datorită cerințelor deosebite de scalabilitate, flexibilitate și integrare cu un mediu real, precum și noutății și imaturității domeniului pe plan global.

Mai mult, realizarea unui pachet de programe și metode care să permită dezvoltarea ulterioară de noi campusuri virtuale, în timp scurt și la costuri accesibile, este o provocare suplimentară. Însa, pe baza experienței avute până în prezent în dezvoltarea 3DUPB și ținând cont și de evoluția tehnologiilor conexe, apreciem că în curând va fi posibilă dezvoltarea unui astfel de pachet.

Perspectivile din punct de vedere al educației sunt deosebite, fiind practic o nouă formă de învățământ la distanță, cu un grad mult crescut de imersiune față de cele existente și cu accent pe stimularea cunoașterii reciproce. Avem în curs de desfășurare o serie de experimente menite a explora și rafina scenarii educaționale posibile bazate pe 3DUPB.

Mai mult, modelul propus și aflat în curs de implementare prezintă o abordare generală inedită referitoare la interacțiunea om-calculator și interacțiunea interumană mediată de calculator: un mediu de realitate mixtă de scară largă, dedicat activităților educaționale, sociale și colaborative de zi cu zi.

Referințe

- Aldrich, C. (2009) *The Complete Guide to Simulations and Serious Games: How the Most Valuable Content Will be Created in the Age Beyond Gutenberg to Google*, HB Printing.
- Ahonen, T., O'Reilly, J. (2007) *Digital Korea. Convergence of Broadband Internet, 3G Cell Phones, Multiplayer Gaming, Digital TV, Virtual Reality, Electronic Cash, Telematics, Robotics, E-Government and the Intelligent Home*, Futuretext.
- Araya, A. (1995) *Questioning ubiquitous computing*. Proceedings of the 1995 ACM 23rd annual conference on Computer science (CSC '95), C. Jinshong Hwang and Betty W. Hwang (Eds.). ACM, New York, NY, USA, pp. 230-237.
- Ariane's Life in the Metaverse, accessed on 15.02.2011.
<http://arianeb.wordpress.com/2010/04/25/why-open-sim-is-the-future-metaverse-and-why-it-is-not-the-present/>
- Asavei, V., Moldoveanu, A., Moldoveanu, F., Morar, A., Egner, A. (2010) *GPGPU for Cheaper 3D MMO Servers*, Proceedings of the 9th WSEAS International Conference on TELECOMMUNICATIONS and INFORMATICS: Session Information Science and Applications, Catania, Italia.
- Caplan, S., Williams, D., Yee, N. (2009) *Problematic Internet use and psychosocial well-being among MMO players*. *Comput. Hum. Behav.* 25, pp. 1312-1319.
- Carpenter, A. (2003), *Applying Risk-Based Analysis to Play Balance RPGs*, Gamasutra, gamasutra.com
- Castronova, E. (2001) *Virtual Worlds: A First-Hand Account of Market and Society on the Cyberian Frontier*, CESifo Working Paper No. 618.
- Castronova, E. (2003) *The Price of 'Man' and 'Woman': A Hedonic Pricing Model of Avatar Attributes in a Synthetic World*, CESifo Working Paper Series No. 957
- Castronova, E. (2006) *Synthetic Worlds: The Business and Culture of Online Games*, University Of Chicago Press.
- Craig A., Sherman W. , Will J. (2009) *Developing Virtual Reality Applications: Foundations of Effective Design*, Morgan Kaufmann.
- Kriegel, H.P., Schubert, M., Züfle, A. (2011) *Managing and mining multiplayer online games*. Proceedings of the 12th international conference on Advances in spatial and temporal databases (SSTD'11), Dieter Pfoser, Yufei Tao, Kyriakos Mouratidis, Mario A. Nascimento, and Mohamed Mokbel (Eds.). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 441-444.
- Mine, M. (2003) *Towards virtual reality for the masses: 10 years of research at Disney's VR studio*. Proceedings of the workshop on Virtual environments 2003 (EGVE '03). ACM, New York, NY, USA, 11-17.
- Mazuryk, T., Gervautz, M. (1996) *Virtual Reality History, Applications, Technology and Future*. TR-186-2-96-06.
- Milgram, P. , Kishino, F. (1994) *A taxonomy of mixed reality visual displays*. IEICE

- Transactions on Information Systems, Vol. E77-D, No. 12, pp 1321–1329
- Moldoveanu A. (2008) *Highly-scalable server for massive multi-player 3D virtual spaces based on multi-processor graphics cards*, Annals of DAAAM for 2008 & Proceedings of the 19th International DAAAM Symposium, Published by DAAAM International, Vienna, Austria.
- Moldoveanu, A. , Moldoveanu, F., Asavei, V., Morar, A., Egner, A. (2011) *From HTML to 3DMMO - a Roadmap Full of Challenges*. CSCS 18 - The 18th International Conference On Control Systems And Computer Science, Bucharest.
- Morgan, G. (2009) *Challenges of Online Game Development: A Review*. Simul. Gaming 40, pp. 688-710.
- Multiverse Platform Architecture*, accessed on 15.02.2011.
http://update.multiverse.net/wiki/index.php/Multiverse_Platform_Architecture
- Waldo, J. (2008) *Scaling in Games and Virtual Worlds*. Communications of the ACM, Vol 51, No 08, 2008, pp. 38-44.
- Weiser, M. (1991) *The Computer for the Twenty-First Century*. Scientific American, 265 (3), pp. 94-104.
- Weiser, M. (1993) *Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing*. Comm. ACM, 36 (7), pp. 75-84.
- Daskalakis, S., Tselios, N. (2011). Evaluating e-learning initiatives: a literature review on methods and research frameworks. *International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies*, vol. 6, no. 1, pp. 35-51.
- Davis, F.D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, vol. 13, no. 3, pp. 319-340.
- Field, A. (2005). *Discovering statistics using SPSS*. 2nd ed., SAGE Publications.
- Fornell, C., Larcker, D.F. (1981). Evaluating structural equations models with unobservable variables and measurement error. *Jou. of Marketing Research*, vol. 18, no. 1, pp. 39-50.
- Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E., Tatham, R.L. (2006). *Multivariate Data Analysis*. 6th ed., Prentice Hall, 2006.
- Iordache, D.D. (2010). Modele de acceptare a tehnologiilor în e-learning. *Revista Română de Interacțiune Om Calculator*, vol. 3, nr. 2, pag. 125-138.
- Karaali, D., Gumussoy, C.A., Calisir, F. (2011). Factors affecting the intention to use a web-based learning system among blue-collar workers in the automotive industry. *Computer in Human Behavior*, vol. 27, no. 1, pp. 343-354.
- Koufteros, X.A. (1999). Testing a model of pull production: a paradigm for manufacturing research using structural equation modeling. *Journal of Operations Management*, vol.17, no.4, pp. 467-488.
- Lee, M. (2010). Explaining and predicting users' continuance intention toward elearning: an extension of the expectation–confirmation model. *Computers & Education*, vol. 54, no. 2, pp. 506–516.

- Loquineau, O., Caplan, A., ToumazEAU, K., Zanetto, C., Billiot, M., Goethals, F.G. (2011). On the intention to use an online learning platform feature. *Scientific Journal of Riga Technical University*, vol. 43, pp. 92-98.
- Ma, W., Yuen, A. (2011). E-learning acceptance and usage pattern, in: T.Teo (ed.). *Technology acceptance in education. Research and issues*, Sense Pub., pp. 201-216.
- Maldonado, U.P.T., Khan, G.F., Moon, J., Rho, J.J. (2011). E-learning motivation and educational portal acceptance in developing countries. *Online Information Review*, vol. 35, no. 1, pp. 66-85.
- Ndubisi, N. O. (2006). Factors of online learning adoption: a comparative juxtaposition of the theory of planned behavior and the technology acceptance model. *International Journal on E-learning*, vol. 5, no. 4, pp. 571–591.
- Pituch, K. A., Lee, Y. (2006). The influence of system characteristics on e-learning use. *Computers & Education*, vol. 47, no. 2, pp. 222–244.
- Raaij, E.M., Schepers, J.J.L. (2008). The acceptance and use of a virtual learning environment in China. *Computers & Education*, vol. 50, no. 3, pp. 838-852.
- Saade R.G., Bahli, B. (2005). The impact of cognitive absorption on perceived usefulness and perceived ease of use in on-line learning: an extension of the technology acceptance model. *Information and Management*, vol. 42, pp. 317-327.
- Schermelleh-Engel, K., Moosbrugger, H. (2003). Evaluating the fit of structural equation models: tests of significance and descriptive goodness-of-fit measures. *Methods of Psychological Research Online*, vol. 8, no.2, pp. 23-74.
- Šumak, B., Heričko, M., Pušnik, M. (2011). Factors affecting the adoption of e-learning: a meta-analysis of existing knowledge. *eL&mL 2011: The Third International Conference on Mobile, Hybrid, and On-line Learning*. IARIA, pp. 31-35.
- Teo, T., Noyes, J. (2012). Explaining the intention to use technology among pre-service teachers: a multi-group analysis of the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology. *Interactive Learning Environments*, iFirst article, 1-16.
- Venkatesh, V., Morris, M., Davis, G., Davis, F. (2003). User acceptance of information technology: toward a unified view. *MIS Quarterly*, vol. 27, no. 3, pp. 425-478.
- Wang, H.Y., Wang, S.H. (2010). User acceptance of mobile Internet based on the UTAUT: investigating the determinants and gender differences. *Social Behavior and Personality*, vol. 38, no. 3, pp. 415–426.
- Wang, Z.S., Wu, M.C., Wang, H.Y. (2009). Investigating the determinants and age and gender differences in the acceptance of mobile learning. *British Journal of Educational Technology*, vol. 40, no. 1, pp. 92-118.
- Williams, M.D., Rana, N.P., Dwivedi, Y.K., Lal, B. (2011). Is UTAUT really used or just cited for the sake of it? A systematic review of citations of UTAUT's originating article. *19th European Conference on Information Systems, ECIS 2011*, Helsinki, Finland, June 9-11.