

# Stadiul actual al cercetării în domeniul realității îmbogățite

Dragoș Cătălin Barbu

ICI București

B-dul Mareșal Averescu, 8-10, București  
dbarbu@ici.ro

## REZUMAT

În acest articol vom trece în revistă stadiul actual de cercetare în domeniul realității îmbogățite. Vom descrie lucrările efectuate în mai multe părți și vom explica problemele întâmpinate în construirea sistemelor de realitate îmbogățită. Se va face un rezumat al abordărilor luate pentru a depăși aceste probleme.

## Cuvinte cheie

Realitate virtuală și realitate îmbogățită, Afișaje tridimensionale, Interacțiune, Proiectare, Aplicații de realitate îmbogățită.

## Clasificare ACM

H5.1. Artificial, Augmented and Virtual Realities;

H5.2. Information interfaces and presentation (e.g., HCI): Miscellaneous.

## 1. INTRODUCERE

Realitatea îmbogățită (*Augmented Reality – AR*) este o variație a mediilor virtuale (*Virtual Environments – VE*), sau a realității virtuale, deoarece este mai frecvent denumită astfel. Tehnologiile VE cufundă complet un utilizator în interiorul unui mediu sintetic. În timp ce este scufundat, utilizatorul nu poate vedea lumea reală din jurul lui. Spre deosebire, realitatea îmbogățită permite utilizatorului de a vedea lumea reală, cu obiecte virtuale suprapuse sau compuse cu lumea reală. Prin urmare, realitatea îmbogățită completează mai degrabă realitatea decât să o înlocuiască complet. În mod ideal, aceasta ar părea pentru utilizator că obiectele reale și virtuale coexistă în același spațiu.

Realitatea îmbogățită poate fi considerată partea de mijloc între VE (complet sintetic) și tele-prezența (complet real) [21,22].

Un sistem de realitate îmbogățită completează lumea reală cu obiecte virtuale generate de calculator, obiecte care par să coexiste în același spațiu cu lumea reală. Azuma [1] (1997) definește un sistem de realitate îmbogățită ca un sistem în care:

- combină obiectele reale și virtuale într-un mediu real;
- rulează interactiv, și în timp real;
- indică (aliniază) obiectele reale cu cele virtuale.

În 1997, Azuma [1] a publicat un studiu care a definit acest domeniu, a descris numeroase probleme, realizând un rezumat al evoluțiilor în domeniu până la acel moment.

La sfârșitul anilor 1990, mai multe conferințe despre realitate îmbogățită au luat ființă, inclusiv Simpozionul și Atelierul Internațional pe Realitate Îmbogățită (*International Workshop and Symposium on Augmented*

*Reality*), Simpozionul Internațional pe Realitate Mixtă (*International Symposium on Mixed Reality*), și Atelierul de Proiectare a Mediilor de Realitate Îmbogățită (*Designing Augmented Reality Environments workshop*).

Milgram [21] a definit un continuum de la mediul real la cel virtual, în care realitatea îmbogățită este o parte din zona generală a realității mixte (Fig. 1). Și în virtualitatea îmbogățită, în care obiectele reale sunt adăugate celor virtuale, și în mediile virtuale (sau realitatea virtuală), mediul înconjurător este virtual, în timp ce în realitatea îmbogățită mediul înconjurător este real. Ne vom concentra atenția asupra realității îmbogățite și nu vom acoperi virtualitatea îmbogățită sau mediile virtuale.

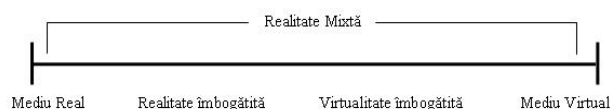


Figura 1. Continuumul Realitate-Virtual al lui Milgram

Începuturile realității îmbogățite datează din timpul lucrărilor lui Sutherland [31] din anii 1960, care a folosit un *see-through HMD* să prezinte grafica 3D. Totuși, în ultimul deceniu au existat destule lucrări pentru a ne putea referi la realitatea îmbogățită ca la un domeniu de cercetare.

De atunci, creșterea și progresul realității îmbogățite au fost remarcabile. S-au format câteva organizații axate pe realitatea îmbogățită bine finanțate, cea mai notabilă fiind *Mixed Reality Systems Lab* în Japonia și consorțiumul *Arvika* din Germania.

Un instrument software (*ARToolkit*) pentru construirea rapidă de aplicații de realitate îmbogățită este acum disponibil gratuit la [http://www.hitl.washington.edu/research/shared\\_space/](http://www.hitl.washington.edu/research/shared_space/).

Datorită sumedeniei de noi dezvoltări, acest domeniu are nevoie de o trecere în revistă actualizată pentru a ghida și încuraja continuarea cercetării în acest domeniu.

Cea mai mare provocare pentru sistemele de realitate îmbogățită este modul de îmbinare a lumii reale cu cea virtuală într-un singur mediu îmbogățit. Pentru a menține iluzia utilizatorului că obiectele virtuale sunt, într-adevăr, o parte a lumii reale este necesară o înregistrare consistentă a lumii virtuale cu cea reală.

În prezent, cele mai multe cercetări în domeniul realității îmbogățite se referă la utilizarea de imagini video live, care sunt prelucrate digital și "îmbogățite" prin adăugarea de elemente grafice generate de calculator. Cercetări avansate includ utilizarea datelor de urmărire a mișcărilor (*motion-tracking data*), recunoașterea algoritmică a marker-ilor folosind *machine vision*, și construirea de

medii controlate care conțin un număr nelimitat de senzori și actuatore (*actuators*).

## 2.CARACTERISTICI

Această secțiune tratează caracteristicile sistemelor de realitate îmbogățită și problemele de proiectare întâmpinate la construirea unui sistem de realitate îmbogățită.

Vom descrie caracteristicile de bază ale augmentării. Există două moduri de a realiza augmentarea: prin tehnologii optice sau prin tehnologii video.

### 2.1 Augmentare

În afară de adăugarea de obiecte la un mediu real, realitatea îmbogățită are și posibilitatea de a le elimina. Diverse lucrări s-au concentrat pe adăugarea de obiecte virtuale la un mediu real. Cu toate acestea, suprapunerile grafice pot fi folosite și pentru eliminarea sau ascunderea unei părți a mediului real pentru utilizator.

Realitatea îmbogățită se poate aplica la toate simțurile, inclusiv auzul, simțul tactil sau olfactiv. Anumite aplicații de realitate îmbogățită impun, de asemenea, eliminarea obiectelor reale din spațiul perceput, în plus, față de adăugarea de obiecte virtuale. De exemplu, o vizualizare în realitatea îmbogățită a unei clădiri care se afla într-o anumită locație ar putea elimina clădirea care există astăzi. Unii cercetători numesc această operație de înlăturare a obiectelor reale *realitate mediată sau diminuată*, dar o considerăm o submulțime a realității îmbogățite.

Se poate extinde pentru a include și sunet. Utilizatorul ar purta căști dotate cu microfoane pe exterior. Căștile vor adăuga sunet 3-D direcțional sintetic în timp ce microfoanele externe ar detecta sunetele din mediul înconjurător. Acest lucru ar oferi o șansă sistemului pentru a masca sau de a acoperi sunetele reale selectate din mediu prin generarea unui semnal de mascare care anulează exact sunetul real sosit din mediul înconjurător [6]. Un alt exemplu sunt instrumentele haptice. Mănușile cu dispozitive care oferă feedback tactil ar putea îmbogăți forțele reale din mediul înconjurător. De exemplu, un utilizator ar putea rula mâna pe un birou virtual care ar părea adevărat. Simularea unei suprafețe așa dure este dificilă, dar este ușor de făcut în realitate. Apoi realizatorii tactili din mănușă pot mări sentimentul atingerii biroului făcându-l să pară chiar dur în anumite locuri. Această capacitate poate fi utilă în unele aplicații, cum ar fi oferirea unei indicații suplimentare că un obiect virtual se află într-o anumită locație de pe un birou real [34].

O decizie de bază în proiectarea unui sistem de realitate îmbogățită este cum să se realizeze combinarea dintre real și virtual. Sunt disponibile două opțiuni de bază: tehnologii video și tehnologii optice. Fiecare are anumite avantaje și dezavantaje [27].

Un *see-through HMD* este un dispozitiv folosit pentru a combina mediu real cu cel virtual. Dispozitivele standard *closed-view HMD* nu permite nicio vedere directă a lumii reale. În contrast, un dispozitiv *see-through HMD* permite utilizatorului vizualizarea lumii reale, cu obiecte virtuale suprapuse de tehnologii optice sau video.

### 2.2 Afișaje

Putem clasifica afișajele pentru vizualizare fuziuni dintre mediul real și cel virtual în următoarele categorii: purtate pe cap, purtate pe mână și proiective.

Afișajele purtate pe cap (*Head-worn displays HWD*) - utilizatorii folosesc aceste dispozitive prin montarea lor pe cap, care furnizează imagini în fața ochilor lor. Există două tipuri de HWD: *see-through* optice și *see-through* video (Fig.2). Cele din urmă folosesc captura video de la camera situată pe cap ca fundal pentru suprapunerea realității îmbogățite, afișată pe un display opac, pe când metoda *see-through* optică oferă o suprapunere pentru realitatea îmbogățită prin intermediul unui afișaj transparent.

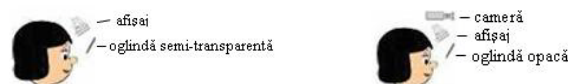


Figura 2. Concepte de *see-through* optice (stânga) și afișaje video *see-through* (dreapta).

O altă abordare este afișajul retinal virtual [24] (*virtual retinal display*) care formează imagini direct pe retină. Aceste afișaje desenează direct pe retină cu ajutorul laserelor de putere mică ale căror raze modulare sunt scanate de ansambluri de oglinzi microelectromecanice care „mătură” fasciculul pe orizontală și pe verticală. Ca potențiale avantaje sunt luminozitate și contrast ridicate, scăderea consumului de energie și o mai mare adâncime a câmpului.

Afișajele purtate pe mână (*handheld display*) – unele sisteme de realitate îmbogățită folosesc afișaje *handheld*, *flat-panel LCD* care folosesc o cameră atașată pentru a oferi augmentare video *see-through* [26].

Afișajul *handheld* acționează ca o fereastră sau o lupă care arată obiectele reale cu o suprapunere a realității îmbogățite.

Afișaje proiective – în această abordare, informația virtuală dorită este proiectată direct pe obiectele fizice ce trebuie augmentate. În cazul cel mai simplu, intenția este ca augmentarea să fie coplanară cu suprafața pe care se proiectează și să fie proiectate dintr-un singur proiector de cameră, fără folosirea unor ochelari speciali. Raskar [25] arată cum mai multe proiectoare suprapuse pot acoperi mari suprafețe neregulate folosind o metodă automată de calibrare care ia în calcul geometria suprafeței și suprapunerea de imagini.

O altă abordare pentru sisteme de realitate îmbogățită proiective se bazează pe proiectoare purtate pe cap (*headworn*), ale căror imagini sunt proiectate de-a lungul liniei de vedere a utilizatorului a obiectelor în lumea reală. Obiectele țintă sunt acoperite cu un material retroreflectiv care reflectă lumina înapoi de-a lungul liniei de incidență. Mai mulți utilizatori pot vedea imagini diferite asupra aceleiași ținte proiectate de propriile lor sisteme purtate pe cap, în măsura în care imaginile proiectate nu pot fi văzute decât de-a lungul liniei de proiecție. Prin utilizarea proiectoarelor cu o proiecție relativ scăzută obiectele reale non-retroreflective pot obtura obiectele virtuale. Totuși, proiectoarele purtate pe cap pot fi destul de grele.

Afișajele *see-through* nu au suficientă luminozitate, rezoluție, câmp vizual, și contrast pentru a combina fără cusur o gamă largă de imagini reale și virtuale. În plus, dimensiunea, greutatea și costurile sunt încă probleme. Totuși, au existat progrese cu privire la aceste probleme specifice. În primul rând, afișajele convenționale *see-through* nu pot bloca complet obiectele reale cu cele virtuale. Un afișaj experimental a rezolvat această problemă prin interpunerea unui panou LCD între combinatorul optic și lumea reală, blocând vederea lumii reale la pixeli selectați [18].

### 2.3 Senzori de urmărire

Precizia de urmărire a orientării privirii panoramice și a poziției sunt cruciale pentru înregistrarea sistemului de realitate îmbogățită. Rolland [28] oferă o privire de ansamblu asupra sistemelor de urmărire. Pentru spațiile interioare, pregătite, mai multe sisteme au demonstrat o înregistrare excelentă. Astfel de sisteme de urmărire folosesc tehnici hibride de urmărire (cum ar fi senzori video și magnetici) pentru a exploata punctele forte și pentru a compensa slăbiciunile tehnologiilor individuale de urmărire. Un sistem care combină accelerometre și supraveghere video a demonstrat o înregistrare precisă chiar și în timpul mișcării rapide a capului [35]. Algoritmul unei singure constrângeri la un moment dat (Scaat) a îmbunătățit, de asemenea, performanța de urmărire. Scaat încorporează măsurile individuale la timpul exact când acestea au loc, având ca rezultat o creștere a ratei de update, oferind o soluție mai precisă și posibilitatea autocalibrării parametrilor [33].

Urmărirea vizuală se bazează, în general, pe modificarea mediului prin markeri de încredere, convenționali, (*fiducial markers*) plasați în mediul înconjurător la locații cunoscute. Markerii pot varia în dimensiune pentru a îmbunătăți zona de urmărire [4], iar tehnicile de computer-vision care realizează urmărirea folosind markeri convenționali se pot actualiza la 30 Hz. [29].

În timp ce unele sisteme de realitate îmbogățită au dovedit o înregistrare robustă și convingătoare în mediile interioare pregătite există încă multe probleme legate de calibrare și urmărire.

Cercetări actuale iau în considerare minimizarea latenței și reducerea cerințelor de calibrare.

Sistemele de realitate îmbogățită eficiente necesită cunoștințe legate de locația utilizatorului și poziția tuturor celorlalte obiecte de interes din mediul înconjurător. De exemplu, este necesară o hartă de adâncime a scenei reale pentru a sprijini ocluziunea obiectelor la renderare (interpretare). S-a realizat un sistem care extrage harta de adâncime în timp real folosind mai multe camere, și apoi harta de adâncime este re-proiectată la o nouă locație de vizionare [23].

Cupola 3D a lui Kanade [16] duce acest concept la extrem prin capturarea cu 49 de camere a unei scene pentru vizualizare ulterioară a scenei virtuale.

### 2.4 Calibrare

Sistemele AR necesită, în general, o calibrare vastă pentru a produce o înregistrare exactă. Măsurătorile includ parametrii camerei, câmpul vizual, abaterea senzorilor, poziția obiectelor, ș.a. Comunitatea AR folosește principii

de bază bine cunoscute pentru calibrarea camerei și a dezvoltat multe tehnici de calibrare manuale. Un mod de a evita pasul de calibrare este de a dezvolta transmițători (interpretatori – *render*) care nu necesită calibrare. De la introducerea de către Kutulakos și Vallino a abordării lor bazată pe realitatea îmbogățită care nu necesită calibrare [19], Seo și Hong au extins-o pentru a acoperi și proiecția din perspectivă, permițând tehnici de iluminare tradiționale [30].

Un alt exemplu obține dimensiunea de focalizare a camerei fără un pas de calibrare metrică explicit. Un alt mod de a reduce cerințele calibrării este autocalibrarea.

Astfel de algoritmi folosesc informația senzorilor redundanți pentru a măsura automat și pentru a compensa schimbarea parametrilor de calibrare [14,33].

### 2.5 Interfața utilizator

În trecut cele mai multe prototipuri de realitate îmbogățită s-au concentrat pe afișarea informației care era înregistrată cu mediul înconjurător și nu s-au preocupat îndeajuns cu numărul de utilizatori potențiali care vor interacționa cu aceste sisteme.

Prototipurile care permit interacțiunea de cele mai multe ori au interfața bazată pe metafore de tip desktop (de exemplu, prezintă meniuri pe ecran sau se cere utilizatorilor să tasteze ceva de la tastatură) sau au model adaptiv bazat pe cercetarea mediului virtual (cum ar fi utilizarea recunoașterii gesturilor sau urmărirea indiciilor 6D).

Totuși, este dificil de interacționat cu informații virtuale pure. Există două tendințe în cercetarea de interacțiune a realității îmbogățite:

- folosirea dispozitivelor eterogene pentru a susține avantajul utilizării diferitelor afișaje, și
- integrarea cu lumea fizică prin interfețe palpabile.

## 3. APLICAȚII

Următoarea secțiune descrie munca și progresele care au fost făcute în domeniul realității îmbogățite. Vom evidenția progresele semnificative care s-au realizat în domenii precum cel comercial și chiar în cel mai tradițional, al inspecției.

Curtis [5] descrie verificarea unui sistem de realitate îmbogățită pentru asamblarea pachetelor de fire la aeronave. Deși limitate de tehnologia de urmărire și de tehnologia de afișare, testele lor efectuate chiar pe muncitori de pe linia de asamblare au evidențiat că sistemul lor permite lucrătorilor crearea de pachete de fire care vor funcționa la fel de bine ca cele create prin abordările convenționale.

Fucks și colegii săi [9] își continuă munca pe aplicațiile de realitate îmbogățită în domeniul medical, rafinând tehnicile de urmărire și de afișare de a sprijini chirurgia laparoscopică.

Ishii [15] prezintă o problemă în separația spațială și temporală între diferite forme de reprezentare utilizate în proiectarea urbană. Schițele, modelele fizice și chiar și simularea computațională, în timp ce fiecare servește unui scop, tind să fie forme incompatibile de reprezentare. Proiectantul contemporan este nevoit să asimileze aceste

informații media divergente într-o singură construcție mentală și prin aceasta este distras de la procesul principal de proiectare.

Se propune un cadru de lucru pentru realitate îmbogățită numit „Masa Luminoasă” (figura 3) care încearcă să abordeze această problemă prin integrarea mai multor forme de reprezentare fizică și digitală.



Figura 3 „Masa Luminoasă” – (*Luminous Table*)

Desene 2D, modele fizice 3D, și simulări digitale sunt suprapuse într-un singur spațiu informațional pentru a sprijini procesul de proiectare urbanistică.

Freund [8] descrie diferite scenarii de utilizare a realității îmbogățite folosite la începutul fazei de proiectare a mașinilor (figura 4). Prototipul utilizează diferite sisteme de urmărire ca AR-Toolkit, Polhemus Fastrack și mânuși Pinch pentru interacțiunea cu utilizatorul.



Figura 4. – Faza de proiectare a mașinilor

În [7] se compară o interfață utilizator palpabilă de proiectare (*Tangible User Interface – TUI*) cu trei instrumente alternative printr-o investigație empirică. Aceste trei instrumente alternative sunt unul fizic 3D, un carton 2D și un instrument matematic. S-a efectuat un studiu pilot, ale cărui rezultate au fost folosite pentru a proiecta un experiment mai mare. Participanții au rezolvat aceeași problemă de poziționare, fiecare folosind una din cele patru instrumente. Instrumentul matematic nu a fost folosit în experiment. Instrumentul fizic 3D a depășit în mod semnificativ instrumentul de carton 2D. A depășit de asemenea și TUI, dar doar în satisfacția utilizatorilor. Acest lucru justifică valoarea sistemelor TUI și realizarea de studii de uzabilitate unor astfel de sisteme.

Haringer [13] descrie sistemul de *authoring* pentru realitate îmbogățită „PowerSpace” care permite generarea rapidă și comodă a lumilor AR. Sistemul prezentat folosește funcționalitatea unui program de prezentări (Microsoft PowerPoint) ca bază pentru compunerea de conținut 3D. O exportare a programului MS PowerPoint este folosită pentru a genera un fișier XML ce conține descrierea prezentării. Această descriere este îmbogățită cu conținut 3D cu ajutorul unui editor, care este, de

asemenea, parte a sistemului PowerSpace. Conținutul acestei prezentări, în final, este convertit în scene 3D și se folosește un vizualizator AR.

Lucrările anterioare în modelarea curbilor și suprafețelor în spațiul realității îmbogățite au folosit senzori scumpi, cum ar fi senzori magnetici. Cheong [3] propune un sistem de realitate îmbogățită în care un utilizator poate modela suprafețe interesante cu ajutorul mâinilor, și fără a folosi sisteme de senzori scumpe. Sistemul utilizează metode bazate pe computer vision pentru urmărirea capului utilizatorului și poziția mâinii. Folosind o mână și sistemul de urmărire, utilizatorul poate desena linii și suprafețe netede cu mâinile lui într-un spațiu fizic. De asemenea, utilizatorul poate modifica în mod intuitiv liniile și suprafețele create prin împingerea sau tractarea în punctele de control ale liniilor sau curbilor într-o manieră palpabilă.

Geiger [12] descrie sistemul ARGUI, care oferă posibilitatea dezvoltatorilor de aplicații ARToolkit de a crea suprafețe de interacțiune 2D îmbinate în 3D. Cu ARGUI 2D interacțiunile pe obiectele 2D îmbinate în 3D sunt posibile (i.e. atașate de un marker). Integrarea completă a unei librării 2D GUI este prezentată în detaliu, lucru care simplifică crearea de interfețe cu utilizatorul.

Gausemeier [10] dezvoltă un sistem modular de construcție bazat pe realitate îmbogățită care poate fi utilizat în fazele avansate de dezvoltare de automobile. Aplicația completează prototipurile auto reale prin componente virtuale pentru a afișa variantele de proiectare sau de a sprijini verificarea proiectării. Astfel, utilizatorul poate selecta componente auto virtuale dintr-un meniu virtual de componente și să le poziționeze pe o mașină reală. Interacțiunea cu scena AR se face prin gesturile mâinii. Evaluarea aplicației a avut loc la Volkswagen AG, departamentul de vehicule comerciale.

Kato prezintă o interfață palpabilă pentru manipularea obiectelor virtuale în realitatea îmbogățită bazată pe ARToolKit [17]. Această demonstrație a fost proiectată pentru proiectarea urbanistică. Tehnologia realității îmbogățite permite utilizatorilor să ia în considerare mai multe planuri de oraș în mod eficient și cu ușurință. Un aspect important în mediul realității îmbogățite este modul în care utilizatorul poate manipula structurile 3D care sunt afișate ca obiecte virtuale. Aceasta trebuie să fie intuitivă și ușoară, astfel încât să nu perturbe gândurile utilizatorului. Se propune o nouă metodă directă de manipulare bazată pe interfață utilizator palpabilă (figura 5).



Figura 5. Manipularea obiectelor virtuale



Utilizatorul ține o ceașcă transparentă răsturnată și poate ridica, muta sau șterge un obiect virtual prin utilizarea ei.

Tabelul muzical [2] permite compunerea de modele muzicale prin aranjarea cărților pe o masă. O cameră situată deasupra permite calculatorului să urmărească mișcările și pozițiile cărților și de a oferi feedback imediat sub formă de muzică și pe ecran prin imaginile generate de calculator. Structura muzicală este experimentată ca un spațiu tangibil îmbogățit cu indicații fizice și vizuale despre muzica produsă.

Lee și colegii [20] au propus o nouă abordare pentru aplicațiile de authoring pentru realitatea îmbogățită palpabilă numită „immersive authoring” (figura 6). Această abordare permite utilizatorului să efectueze sarcinile de creare a conținutului (authoring) în interiorul aplicației AR care este creată, astfel că dezvoltarea și testarea se poate face concomitent pe tot parcursul procesului de dezvoltare.

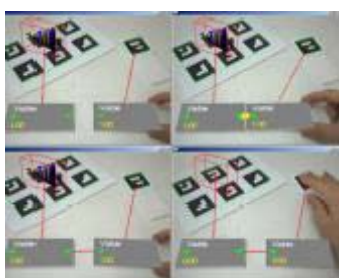


Figura 6. Immersive authoring

Un mic studiu pilot pentru utilizator a fost efectuat pentru a compara metoda propusă cu o abordare non-cufundată, și rezultatele au arătat că, în general, utilizatorii găsesc un mod mai ușor și mai rapid de a desfășura activități de creare a conținutului în mediul cufundat.

Uematsu și Saito [32] propun o metodă de înregistrare bazată pe viziune pentru AR care folosește scene reale care conțin mai multe structuri planare. Metoda lor oferă o mai bună vizualizare a unei scene reale a obiectelor virtuale generate de calculator suprapuse pe imaginile capturate de o cameră mobilă. Obiectele virtuale sunt asociate cu o structură planară 3D și par a se deplasa cu acea structură. Metoda propusă poate fi aplicată chiar și scenelor multi-planare complicate.

## CONCLUZII

Provocarea finală este acceptarea socială. Având un sistem hardware ideal și o interfață intuitivă, cum ar putea deveni realitatea îmbogățită o parte acceptată a vieții de zi cu zi a fiecăruia, asemenea unui telefon mobil? Convingerea unui utilizator să poarte un asemenea sistem înseamnă abordarea unei serii de probleme. Probleme de confort, de natură privată (putem folosi metoda de urmărire necesară pentru afișare și pentru monitorizare și înregistrare). Toate aceste aspecte fundamentale ar trebui să fie abordate înainte ca realitatea îmbogățită să devină acceptată pe scară largă.

## CONFIRMARE

Această lucrare a fost sprijinită din proiectul de cercetare PN 0503/2009.

## REFERINȚE

1. R. Azuma, “A Survey of Augmented Reality,” *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 6, no. 4, Aug. 1997, pp. 355-385.
2. R. Berry, M. Makino, N. Hikawa, M. Suzuki, “The Augmented Composer Project: The Music Table”, *Proceedings of the Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '03)*, 2003
3. A. D. Cheok, N. Weng, Chuen Edmund and Ang Wee Eng, “Inexpensive Non-Sensor Based Augmented Reality Modeling of Curves and Surfaces in Physical Space”, *Proceedings of International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2002*. ISMAR 2002. Pp: 273-274
4. Y. Cho, J. Lee, and U. Neumann, “A Multi-Ring Fiducial System and an Intensity-Invariant Detection Method for Scalable Augmented Reality,” *Proc. Int'l Workshop Augmented Reality (IWAR 98)*, A.K. Peters, Natick, Mass., 1998, pp. 147-165.
5. D. Curtis et al., “Several Devils in the Details: Making an AR Application Work in the Airplane Factory,” *Proc. Int'l Workshop Augmented Reality (IWAR 98)*, A.K. Peters, Natick, Mass., 1998, pp. 47-60.
6. N. I. Durlach, and A. S. Mavor (editors). *Virtual Reality: Scientific and Technological Challenges*. (Report of the Committee on Virtual Reality Research and Development to the National Research Council) National Academy Press (1995). ISBN 0-309-05135-5.
7. M. Fjeld, S. Guttormsen Schär, D. Signorello, H. Krueger, “Alternative Tools for Tangible Interaction: A Usability Evaluation”, *Proceedings of the IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 02)* pp. 157-166.
8. J. Freund, C. Matysczok, R. Radkowski, “AR-based Product Design in Automobile Industry”, *Augmented Reality Toolkit, The First IEEE International Workshop* Publication Date: 2002, 2 pp.
9. H. Fuchs et al., “Augmented Reality Visualization for Laparoscopic Surgery,” *Proc. 1st Int'l Conf. Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI 98)*, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 1998, pp. 934-943.
10. J. Gausemeier, C. Matysczok and R. Radkowski, “AR-based modular construction system for automobile advance development”, *Augmented Reality Toolkit Workshop, 2003*. IEEE International; Volume, Issue, 7 Oct. 2003 Pp:72-73
11. C. Geiger, L. Oppermann, C. Reimann; H. Harz, “3D-Registered Interaction-Surfaces in Augmented Reality Space”, *Augmented Reality Toolkit Workshop, 2003*. IEEE International; Volume, Issue, 7 Oct. 2003 Pp: 5-13
12. R. Grasset, J. Gascuel, D. Schmalstieg, “Interactive Mediated Reality”, *ACM International Conference Proceeding Series; Vol. 104*; Proceedings of the Sixth

- Australasian conference on User interface - Volume 40; Newcastle, Australia; Pp: 21–29
- 13.M. Haringer, F. Ulm, H. T. Regenbrecht, “A pragmatic approach to Augmented Reality Authoring”, Symposium on Mixed and Augmented Reality; *Proceedings of the 1st International Symposium on Mixed and Augmented Reality*; pp: 237–245
  - 14.B. Hoff and R. Azuma, “Autocalibration of an Electronic Compass in an Outdoor Augmented Reality System,” *Proc. Int’l Symp. Augmented Reality 2000 (ISAR 00)*, IEEE CS Press, Los Alamitos, Calif., 2000, pp. 159-164.
  - 15.H. Ishii, J. Underkoffler, D. Chak, B. Piper, E. Ben-Joseph, L. Yeung, Z. Kanji, “Augmented Urban Planning Workbench: Overlaying Drawings, Physical Models and Digital Simulation”, *Proceedings of IEEE & ACM ISMAR 2002*, September 30 - October 1, 2002
  16. T. Kanade et al., “Virtualized Reality: Digitizing a 3D Time-Varying Event As Is and in Real Time,” *Proc. Int’l Symp. Mixed Reality (ISMR 99)*, Springer-Verlag, Secaucus, N.J., 1999, pp. 41-57.
  - 17.H. Kato, K. Tachibana, M. Tanabe, T. Nakajima, Y. Fukuda, “MagicCup: A Tangible Interface for Virtual Objects Manipulation in Table-Top”, *Augmented Reality Toolkit Workshop, 2003*. IEEE International; Volume, Issue, 7 Oct. 2003 Pp: 75–76
  - 18.K. Kiyokawa, Y. Kurata, and H. Ohno, “An Optical Seethrough Display for Mutual Occlusion of Real and Virtual Environments,” *Proc. Int’l Symp. Augmented Reality 2000 (ISAR 00)*, IEEE CS Press, Los Alamitos, Calif., 2000, pp. 60-67.
  - 19.K.N. Kukulakos and J.R. Vallino, “Calibration-Free Augmented Reality,” *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics*, vol. 4, no. 1, Jan.-Mar. 1998, pp. 1-20.
  - 20.Gun A. Lee, C. Nelles, M. Billinghurst, G. Jounghyun Kim, “Immersive Authoring of Tangible Augmented Reality Applications”, *Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2004*. ISMAR 2004. Volume, Issue, 2-5 Nov. 2004 Pp: 172 – 181
  - 21.P. Milgram, and F. Kishino. A Taxonomy of Mixed Reality Virtual Displays. *IEICE Transactions on Information and Systems E77-D*, 9 (September 1994), 1321-1329.
  - 22.P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, and F. Kishino. Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum. *SPIE Proceedings volume 2351: Telem manipulator and Telepresence Technologies* (Boston, MA, 31 October - 4 November 1994), 282-292.
  - 23.Y. Ohta et al., “Share-Z: Client/Server Depth Sensing for See-through Head Mounted Displays,” *Proc. 2nd Int’l Symp. Mixed Reality (ISMR 2001)*, MR Systems Lab, Yokohama, Japan, 2001, pp. 64-72.
  - 24.H.L. Pryor, T.A. Furness, and E. Viirre, “The Virtual Retinal Display: A New Display Technology Using Scanned Laser Light,” *Proc. 42nd Human Factors Ergonomics Soc.*, Santa Monica, Calif., 1998, pp. 1570-1574.
  - 25.R. Raskar, G. Welch, and W-C. Chen, “Table-Top Spatially- Augmented Realty: Bringing Physical Models to Life with Projected Imagery,” *Proc. 2nd Int’l Workshop Augmented Reality (IWAR 99)*, IEEE CS Press, Los Alamitos, Calif., 1999, pp. 64-71.
  - 26.J. Rekimoto, “NaviCam: A Magnifying Glass Approach to Augmented Reality,” *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 6, no. 4, Aug. 1997, pp. 399-412.
  - 27.J.P. Rolland, R. Holloway, and H. Fuchs.” A Comparison of Optical and Video See-Through Head-Mounted Displays”. *SPIE Proceedings volume 2351: Telem manipulator and Telepresence Technologies* (Boston, MA, 31 October - 4 November 1994), 293 - 307
  - 28.J.P. Rolland, L.D. Davis, and Y. Baillot, “A Survey of Tracking Technologies for Virtual Environments,” *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality*, W. Barfield and T. Caudell, eds., Lawrence Erlbaum, Mahwah, N.J., 2001, pp. 67-112.
  - 29.F. Sauer et al., “Augmented Workspace: Designing an AR Testbed,” *Proc. Int’l Symp. Augmented Reality 2000 (ISAR 00)*, IEEE CS Press, Los Alamitos, Calif., 2000, pp. 47-53.
  - 30.Y. Seo and K-S. Hong, “Weakly Calibrated Video-Based Augmented Reality: Embedding and Rendering through Virtual Camera,” *Proc. Int’l Symp. Augmented Reality 2000 (ISAR 00)*, IEEE CS Press, Los Alamitos, Calif., 2000, pp. 129-136
  - 31.I. Sutherland, “A Head-Mounted Three-Dimensional Display,” *Fall Joint Computer Conf., Am. Federation of Information Processing Soc. (AFIPS) Conf. Proc. 33*, Thompson Books, Washington, D.C., 1968, pp. 757-764
  - 32.Y. Uematsu, H. Saito, Multiple Planes Based Registration Using 3D Projective Space for Augmented Reality, *Image and Vision Computing* (2009)
  - 33.G. Welch and G. Bishop, “Scaat: Incremental Tracking with Incomplete Information,” *Proc. ACM Siggraph 97*, ACM Press, New York, 1997, pp. 333-344
  - 34.P. Wellner,” Interacting with Paper on the DigitalDesk”. *CACM 36*, 7 (July 1993), 86-96
  - 35.Y. Yokokohji, Y. Sugawara, and T. Yoshikawa, “Accurate Image Overlay on Video See-through HMDs Using Vision and Accelerometers,” *Proc. IEEE Virtual Reality 2000*, IEEE CS Press, Los Alamitos, Calif., 2000, pp. 247-254