

# Prototipuri de interacțiune om-mașină și tipuri de aplicații educaționale specifice realității îmbogățite pe dispozitive mobile

Livia Ștefan

Universitatea Politehnică București

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

livia.stefan@itc.ro

## REZUMAT

Realitatea îmbogățită sau augmentată (*Augmented Reality*) - AR stimulează percepția realității înconjurătoare prin intermediul unor interfețe om-mașină inovative și interactive. Dezvoltarea exponențială a capacităților dispozitivelor mobile, precum și îmbunătățirea algoritmilor specifici AR, le-au transformat pe acestea în platforme integrate și miniaturizate de aplicații de AR, utilizabile nu numai în medii de cercetare academică, ci și în aplicații comerciale. Lucrarea de față urmărește să structureze o informație referitoare la prototipuri de interacțiune om-mașină specifice paradigmei de realitate îmbogățită mobilă (*Mobile Augmented Reality*) - MAR și să prezinte exemple de utilizare pentru proiectarea aplicațiilor educaționale moderne, pe dispozitive mobile. Lucrarea prezintă în final concluzii pe baza experienței proprii de realizare a unei aplicații educaționale de tip navigator de realitate îmbogățită (*AR browser*).

## Cuvinte cheie

realitate îmbogățită, realitate augmentată, aplicații educaționale, educație mobilă, *AR browser*.

## Clasificare ACM

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

## INTRODUCERE

Realitatea îmbogățită sau realitatea augmentată (*Augmented Reality*) - AR este o tehnologie care îmbunătățește percepția realității prin implementarea unor interfețe om-mașină inovative și interactive, ca atare, are un potențial deosebit pentru aplicațiile care implică procese cognitive (educație, învățare, antrenare, simulare).

Timp de 12 ani termenul de realitate augmentată, definit în cadrul uzinelor Boeing, a generat inovație tehnologică și creativitate în conceperea interfețelor și a modelelor de interacțiune om-mașină. În prezent, se pot identifica mai multe concepte clare și tipuri de interfețe de AR, în timp ce altele, mai avansate, sunt încă într-un stadiu de propunere, cercetare, perfecționare sau experimentare.

Dezvoltarea exponențială a puterii de calcul, integrarea de senzori pe dispozitivele mobile de tip *smartphone* și mai

nou, pe tablete, precum și perfecționarea algoritmilor de poziționare (*registering*) și urmărire (*tracking*) video și a celor de recunoaștere computerizată de imagini și obiecte (*computer-vision*), au transformat aceste dispozitive în platforme integrate și miniaturizate de aplicații de AR. Acestea reprezintă în prezent cea mai largă clasă de aplicații de AR, referite în literatură și ca MAR - realitate îmbogățită mobilă. Aceste aplicații acoperă în general domenii de interes larg (educație, turism, publicitate).

Având elemente specifice față de implementările de AR pe desktop, sau de cele similare, bazate pe proiecții pe ecrane sau suprafețe mari, MAR a generat și cerințe noi pentru proiectarea interfețelor om-mașină.

Interacțiunea cea mai frecvent implementată în MAR este la nivelul interfețelor 2D/3D, cu informație augmentată în domeniul vizual. Augmentări la alte nivele senzoriale (auditiv, tactil, olfactiv) sunt realizate, dar reprezintă cazuri speciale de utilizare, care necesită dispozitive specializate (e.g. căști binaurale, mănuși tactile).

Înțelegerea prototipurilor de interfețe om-mașină în cazul MAR este esențială pentru proiectarea aplicațiilor educaționale, deoarece interfețele sunt diferite de cele uzuale. În plus, sunt utilizate în condiții de mobilitate, deci cu constrângeri pe mai multe planuri. Utilizarea adecvată a interfețelor poate asigura impactul conținutului didactic către utilizatorul final, în noua paradigmă educațională. Instrumentele de dezvoltare comerciale și open-source existente asigură un suport avansat, dar acestea nu sunt încă standardizate, implementează în grade diferite conceptele de AR și utilizează formate de date proprietare.

Sintetizând o documentare realizată în cadrul tezei de doctorat, lucrarea de față încearcă să structureze o informație referitoare la prototipuri de interfețe om-mașină specifice paradigmei de MAR și să prezinte exemple de aplicații educaționale moderne, care utilizează MAR și care pot oferi un nivel pedagogic relevant și inovator.

Lucrarea se bazează pe studii teoretice, dar și pe experiența autoarei în realizarea unei aplicații educaționale de tip navigator de realitate îmbogățită (*AR browser*), prin utilizarea unei platforme comerciale, în urma mai multor evaluări [2,12-16].

## REALITATEA ÎMBOGĂȚITĂ MOBILĂ (MAR)

Paradigma MAR este caracterizată în principal de un mod de interfațare naturală om-mașină și de funcționare contextuală și interactivă. Termenii sunt relaționați, interfațarea naturală fiind dictată de comportamentul utilizatorului, tradus în mișcarea dispozitivului mobil pe 6 grade de libertate și măsurat de către senzorii dispozitivului mobil. Contextul este determinat de un cumul de informații: de localizare geografică, relativ precisă (+/- 20m), dar ajustată prin informații de direcție geografică sau înclinăție orizontală/verticală.

Realitatea îmbogățită face parte din continuum-ul Real-Virtual definit de Milgram [7]. Este important aici de menționat că AR nu se confundă cu realitatea mixtă (*Mixed Reality*) [4,7], care este un termen generic, prin care se descriu simple alăturări ale realității fizice cu informații virtuale, fără componenta de poziționare și urmărire în timp real, conform definiției date de Azuma [1].

O definiție a MAR [3] se referă nu numai la o suprapunere de obiecte 3D peste o imagine video, ci la orice informație specifică locației și contextului realității care se dorește îmbogățită. De aceea, MAR este încadrată în categoria mai largă de sisteme sensibile la context (*context-aware systems*), care permit filtrarea de informații și prezentarea acestora *peste* contextul realității utilizatorului [3, 6]. Filtrarea are loc după “locație, direcție, obiect focalizat, timp sau interes personal al utilizatorului” [4]. În același sens, MAR poate fi o ilustrare a conceptului de disponibilitate de calcul “oriunde/oricând” (“*ubiquitous/pervasive/ wearable computing*”) [3,5], MAR fiind echivalent cu ceea ce “tehnologia mobilă și conectivitatea wireless de bandă largă au adus internetului, respectiv caracteristica de ubicuitate”.

Influențată inițial de realitatea virtuală de tip desktop, prin tehnicile de vedere optică (*see-through*), realitatea îmbogățită este o tehnologie diferită, prin faptul că se păstrează permanent și sincron corelarea cu caracteristicile mediului fizic, vizualizat prin camera video. Obiectivul tehnic final al unei aplicații de AR este ca cele două medii, real-virtual, să se suprapună astfel încât utilizatorul să perceapă cât mai natural o singură realitate, cea îmbogățită. Pentru aceasta este necesară analiza și, eventual, modelarea mediului real.

Dispozitivele mobile adaugă însă constrângeri cunoscute în raport cu dispozitivele staționare sau cu display-urile de dimensiuni mari, ceea ce necesită o proiectare specifică și eficientă a interfețelor.

În contextul MAR, principiile de proiectare pe dispozitive mobile trebuie utilizate împreună cu specificul AR pentru informațiile de intrare/ieșire, astfel încât să se ofere utilizatorului o experiență nouă și în același timp relevantă din punct de vedere senzorial și cognitiv, denumită *experiență de realitate îmbogățită*. Mai precis, trebuie luate în considerare: a) diversitatea de informații din aplicațiile de AR, atât cele de la senzori cât și cele denumite generic “augmentări”; b) tipul acestora; c) modul în care vor fi combinate și prezentate utilizatorului final, prin integrare și sincronizare în timp real cu vizualizările mediului fizic. Prin tehnicile abordate la acest

punct, se asigură grade diferite de imersiune (prezență virtuală) și interactivitate în noua realitate.

## Echipamente și tehnologii hardware semnificative

Sintetizăm în tabelul de mai jos dezvoltări hardware semnificative, inclusiv pe cele actuale sau preconizate [11].

Tabelul 1 Tehnologii hardware pentru realitate îmbogățită

Tip de tehnologie	Echipamente
Sisteme optice și video pentru combinarea vizualizărilor real-virtuale.	Sisteme montate pe cap - HMD ( <i>Head Mounted Display</i> ) pentru “vedere optică” ( <i>optical see-through</i> ); camere foto pe telefonul mobil; proiectoare mobile. În prezent este consacrată în MAR vederea prin camera video ( <i>video see-through</i> ).
Sistemele de senzori pentru localizare geografică și detecția mișcării pe 6 grade de libertate	GPS, A-GPS ( <i>Assisted-GPS</i> ), giroscop/accelerometru, busolă electronică.
Alte tehnologii pentru urmărire și localizare în interior	Tag-uri RFID ( <i>Radio Frequency Identification</i> ), tehnologie NFC ( <i>Near Field Communication</i> )
Tehnologia rețelelor wireless ( <i>Wi-Fi</i> ) și de bandă largă pentru conectare mobilă la internet	Adaptoare <i>Wi-Fi</i> , 2G/3G.
Procesoare <i>multi-tasking</i> pentru creșterea capacității mobile de prelucrare	Randarea mai rapidă în timp real a obiectelor 3D, cât și pentru urmărirea și poziționarea acestora în mediul fizic.
Tehnologii de afișare mobilă pentru redare realistă	AMOLED ( <i>Active-Matrix Organic Light-Emitting Diode</i> ) și ecrane retinale ( <i>Retinal Display</i> ). Tablet PC-uri.
Dispozitive externe	Senzori tactili/haptici; ochelari <i>Google goggle</i> , cu sistem Android, prin care se asigură un grad de imersiune similar realității virtuale și considerați de viitor în AR.
Mini-roboti	Asigură cartarea ( <i>mapping</i> ) și modelarea în timp real a mediului fizic, prin nor de puncte - SLAM ( <i>Simultaneous Localization and Mapping</i> ).



Figura 1 Exemplu de aplicație de realitate îmbogățită

## Dezvoltări software semnificative

Dezvoltarea MAR din punct de vedere software a avut în vedere rezolvarea unor dificultăți tehnice aferente proceselor de poziționare și urmărire în timp real, precum și de *computer-vision*, dar și dezvoltarea de noi cazuri de utilizare a aplicațiilor, aspect care este încă în dezvoltare. Aplicațiile MAR sunt, prin definiție, sensibile la context,

ele au creat o clasă aparte de aplicații, în care informația geografică este cea care declanșează afișarea informației de îmbogățire. În tabelul de mai jos se sintetizează dezvoltări software în relație cu MAR:

Tabelul 2 Tehnologii software pentru realitate îmbogățită

Dezvoltări software	Comentarii
Sisteme de operare mobile – Android, iOS, Windows Phone	Asigurarea suportului la nivel nativ.
Recunoaștere de imagini, cu sau fără marcaje ( <i>markerless/marker-based</i> ) .	Utilizate în spații interioare, e.g. muzee, sau pentru îmbunătățirea algoritmilor de geo-referențiere. Marcajele sunt imagini simbolice cu zone în alb-negru sau pot fi imagini complexe din realitate, utilizate în <i>computer-vision</i> .
Tehnici de modelare 3D a mediului și algoritmi de rezolvare a ocuziunii între obiectele reale și cele virtuale.	Optimizarea pentru dispozitive mobile și integrarea în fluxul camerei video.
Integrarea componentelor multimedia audio și video în fluxul camerei video ( <i>"video-in-video"</i> ).	Este încă în dezvoltare.
Arhitecturi de servicii web, platforme de stocare și furnizare de conținut (CMS), integrarea de informații geo-referențiate.	Crearea de aplicații de tip navigator ( <i>AR browser</i> ), utilizate în aplicații comerciale; ilustrează cel mai bine ideea de context.
Interfețe spațiale 3D interactive [9]: suprafețe augmentate ( <i>augmented surfaces</i> ), suprafețe tangibile ( <i>tangible interfaces</i> ), interfețe AR tangibile ( <i>tangible AR interfaces</i> );	Dezvoltarea de aplicații AR spațiale, interactive și colaborative.
Integrarea cu rețele sociale și de mesagerie colaborativă (web 2.0) - Facebook, tweeter, micro-blogging.	Dezvoltarea de aplicații AR colaborative, prin adnotare și partajare de informații, crearea de conținut la fața locului.
Integrarea cu tehnologiile web prin standardele HTML 5 și Web3D.	Integrarea AR și MAR în browser-ele web.
Tehnici de recunoaștere facială, de gesturi (mișcare a degetelor), recunoaștere de voce.	Dezvoltare aplicații AR interactive.
Integrarea cu motoare de gaming, cu scenarii ( <i>storytelling</i> ), cu agenți software și cu elemente de inteligență artificială.	Adaptare la dispozitive mobile. Crearea de jocuri AR ( <i>AR serious games</i> ).

### Prototipuri de interacțiune om-mașină

În această secțiune se descriu mai multe modele de interacțiuni om-mașină pentru MAR, conform unei clasificări intuitive [3,5].

#### Vizualizări cu dispozitive montate pe cap - HMD

HMD proiectează informația în câmpul vizual al utilizatorului, în mod sincron cu mișcările capului, și au fost utilizate pentru navigație. HMD reprezintă modelul de interacțiune AR cel mai vechi, introdus în anii 50. Utilizând HMD în cabină, piloții puteau citi informațiile fără a mai mișca ochii către panourile speciale de instrumentație. HMD este un exemplu de sistem integrat.

Aplicațiile bazate pe HMD pot proiecta informații și pe alte simțuri decât cele vizuale. Proiectul LISTEN [3]

imersa utilizatorul într-o scenă audio 3D în mod sincron cu mișcările utilizatorului.

#### Vizualizări de tip "tricorder"

Tricorder-ul este un concept lansat de filmul de televiziune Star Trek (1966-1969). Era un dispozitiv mobil care putea scana mediul înconjurător, oferind informații contextuale, dacă echipamentul era îndreptat într-o anumită direcție. O caracteristică importantă este faptul că tricorderul este un echipament extern, care introduce constrângeri de interacțiune. În schimb, câmpul vizual al utilizatorului permite diferite perspective în prezentarea conținutului și o selecție explicită a perspectivei de către utilizator. În prezent acest prototip de interacțiune se regăsește la dispozitive de tip smartphone, pe care utilizatorul le îndreaptă în direcții de interes.

#### Vizualizări de tip "holo-șah"

*HoloChess* este numele unui joc de șah din Star Wars. Modelul de interacțiune plasează obiecte virtuale în lumea reală. Aceste "artefacte virtuale" poziționate în lumea reală pot interacționa unele cu altele sau pot interacționa cu obiecte din lumea reală. În holo-șah obiectele virtuale sunt cele de interes, în timp ce la tricorder, obiectul servește ca îmbogățire a ceea ce vede utilizatorul. Modelul holo-șah poate fi realizat atât cu dispozitive staționare cât și mobile, abordările curente fiind bazate pe scanarea de tag-uri sau marcaje (*markers*) și posibilitatea de manipulare directă de obiecte fizice de către utilizator.

#### Vizualizări de tip raze X

În modelul de vizualizare de tip raze X, se poate vedea prin suprafețe sau prin structuri din interiorul suprafețelor. Aceasta poate fi realizată în combinație cu diferite modele, ca tricorder sau HMD, sau prin extinderea acestor modele, deoarece augmentarea este bazată pe o înregistrare 3D de mare precizie. Aplicațiile utile sunt din domeniul medical.

### TIPURI DE APLICAȚII EDUCAȚIONALE

Această secțiune descrie tipuri de aplicații educaționale, în relație cu prototipurile de interacțiuni prezentate mai sus.

#### Cărți augmentate

Obiectele augmentate reprezintă cea mai simplă formă de relaționare a obiectelor din lumea reală cu augmentări digitale. În general aceasta se realizează prin identificarea manuală a obiectelor, a) prin tehnici de recunoaștere vizuală (*computer-vision*) a obiectului augmentat; b) cu ajutorul unor imagini de tip marcaj-etalon (*fiducial markers*) realizate pe suport fizic, pe care utilizatorii le țin în fața unei camere video; augmentarea obiectului urmărește marcajul și mișcarea acestuia.

Prin integrarea de marcaje-etalon în cărți, pot fi furnizate diferite augmentări și create aplicații pentru experiențe immersive sau ilustrații cu imagini 2D statice sau dinamice 3D. Un exemplu semnificativ este proiectul *MagicBook* (Mark Billinghurst, 2001) [9,11]. În prezent tipologia este utilizată în marketing, publicitate și publishing.

### Augmentări prin obiecte 3D dinamice

Acest tip de aplicații au rol educativ prin reconstituirea unor obiecte sau obiective dispărute, sau de învățare sau antrenare prin metode de simulare. Au fost realizate vizualizări de realitate îmbogățită pentru antrenarea studenților în probleme de inginerie spațială [11], sau sisteme AR pentru educația în matematică și geometrie prin îmbunătățirea percepției spațiale [10]. În prezent tipologia este utilizată în proiecte culturale (turism, arheologie, istorie).

### Navigatoare de informații

Cele mai importante platforme de dezvoltare de aplicații de tip navigatoare AR sunt Layar (2009), Wikitude, Junaio [12,13,14], Sekai Camera (Japonia). Acestea folosesc mai ales modelul de interacțiune “tricorder” și sunt oferite gratuit. Acest model își găsește echivalentul în stilul de învățare bazat pe căutare de informații contextuale. Aplicațiile utilizează conceptul de straturi (conform Layar) sau canale (conform Junaio) de informații. Locația curentă (GPS) și direcția (busolă) în care este îndreptat dispozitivul, sunt utilizate pentru a filtra informațiile și a le prezenta pe hărți sau în vizualizări peste camera video, folosind conceptul Google de puncte de interes.

Aplicațiile au arhitecturi atât client-server, dar pot stoca datele și local. Un caz particular îl reprezintă aplicațiile MAR care etichetează obiectele reale, exemple semnificative fiind ilustrarea vârfurilor de munte, a clădirilor sau a fenomenelor astronomice. În prezent tipologia este utilizată în proiecte turistice și de educație mobilă, sisteme AR de navigație.

### Jocuri AR

Prin jocuri cu conținut educațional, utilizatorii pot rezolva probleme strategice sau cazuri din lumea reală și pot beneficia de reprezentări spațiale. La SIGGRAPH 2004 Emerging Technologies [11], a fost prezentat primul joc AR multi-utilizator - Trenul invizibil (*The Invisible Train*). În 2005 Anders Henrysson [11] a realizat primul joc colaborativ pe smartphone - *AR-Tennis*. Aplicațiile permit utilizatorilor să modifice scena vizuală virtuală, iar aceste modificări să fie propagate în timp real către toți utilizatorii.

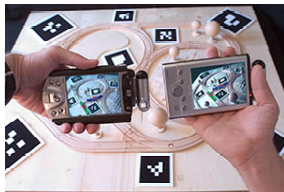


Figura 2. Joc AR multi-utilizator [10]

### STUDIU DE CAZ – APLICAȚIE NAVIGATOR AR

Autoarea a evaluat oferta de medii de dezvoltare de tip open-source și comerciale și a realizat o aplicație de MAR în colaborare cu Universitatea Națională de Arte (UNA) București. Aplicația realizată a avut scopul de a asigura suportul pentru o lucrare de master la disciplina de design.

Sistemele open-source sunt dedicate aplicațiilor MAR bazate pe recunoaștere de imagini, utile pentru rulare în spații închise. Au fost evaluate *NyARToolkit* pentru Android și *Qualcom AR* [15], care oferă suport și pentru interfața grafică. Sunt utilizate ca biblioteci de funcții.

De remarcat că platforma comercială Junaio permite crearea de marcaje pentru interior LLA (*Latitude, Longitude, Altitude*) cu ajutorul Google Maps pentru interior. Platforma Wikitude permite crearea de aplicații MAR din browser-ele web mobile.

Pentru aplicația de studiu, a fost aleasă platforma Layar pentru sistemul Android, considerată adecvată tipului de aplicație propus, dar și datorită performanțelor – georeferențiere geografică combinată cu recunoaștere de imagini, ceea ce asigură o precizie mare în aplicațiile rulate în exterior; flexibilității în abordarea dezvoltării – programare, dezvoltare rapidă, utilizare platforme ale unor furnizori de servicii sau integrare în aplicații native proprii; suportului pentru testare; precum și interfețelor atractive și personalizabile.

Aplicația reprezintă un tur virtual al unui muzeu, realizat din 12 puncte de interes plasate geografic în vecinătatea UNA, dar care pot fi descoperite prin căutare geografică pe o rază de 25 km. Augmentările utilizate: imagini 2D, modele 3D - optimizate pentru dispozitive mobile și convertite în format proprietar Layar, fișiere video și audio. Augmentările au fost încărcate pe o platformă de gestiune de conținut - CMS (*Content Management System*), partener Layar. A fost necesară dimensionarea augmentărilor de tip imagine, definirea unghiului de privire în raport cu obiectivele fizice de tip clădire și distanța față de acestea, realizarea de mai multe iterații până la afișarea corectă peste imaginile din camera video.



Figura 3. Aplicație MAR pe platforma Layar

### CONCLUZII

Lucrarea de față este scrisă în contextul actual în care pe plan internațional există numeroase aplicații MAR comerciale pentru navigare, acces la informații, marketing și mai puține proiecte educative și culturale relevante și cu aplicare înafara comunităților de cercetare. Pe plan național, autoarea a identificat o singură aplicație MAR de orientare turistică.

Interesul pentru aplicațiile educaționale care utilizează MAR este în continuă creștere, pe măsură ce se maturizează tehnologia însăși. În același timp, se consolidează sau se definesc scenarii noi de utilizare (e.g. migrarea către tablete PC care asigură un confort vizual sporit; înlocuirea smartphone-urilor cu ochelari de tip *Google goggle*) sau tipuri noi de aplicații, care valorifică inovativ potențialul hardware cu paradigme software

actuale (aplicații care utilizează inteligența artificială, integrarea în web [2,16]). În proiectarea de aplicații MAR educaționale este esențial să se asigure caracteristici de interactivitate și colaborare, conform paradigmatelor moderne de învățare, și transpunerea acestora în context de situație la fața locului.

Platformele comerciale de MAR asigură un suport important pentru multe aspecte ale realizării unei aplicații de MAR, de la arhitectura software până la interfața vizuală. Alegerea va fi dictată de tipul și performanța aplicației MAR dorite.

## MULȚUMIRI

Autoarea mulțumește doamnei profesor dr. ing. Florica Moldoveanu de la Universitatea Politehnică din București, Facultatea de Automatică și Calculatoare, pentru suportul acordat pentru realizarea acestei lucrări. De asemenea, mulțumește domnului profesor dr. arhitect Dragoș Gheorghiu de la Universitatea Națională de Arte București pentru colaborarea oferită și d-ului Lăușă Ștefan pentru furnizarea materialului digital și a conceptului artistic.

## REFERINȚE

1. Azuma, R. T.: A Survey of Augmented Reality, Hughes Research Laboratories, 1997
2. Bellessort, R., Fablet, Y.: Integrating Augmented Reality in the Web, Canon Research France, Position Paper for W3C Augmented Reality on the Web Workshop, 2010
3. Hamilton, K., Augmented Reality in Education. [http://wik.ed.uiuc.edu/index.php/Augmented\\_Reality\\_in\\_Education](http://wik.ed.uiuc.edu/index.php/Augmented_Reality_in_Education), 2010
4. Karlekar, J., et al., Mixed Reality on Mobile Devices, Interactive Multimedia Lab., Dept. of ECE National University of Singapore, 2010
5. Lamantia, J. Inside Out: Interaction Design for Augmented Reality, <http://www.uxmatters.com/mt/archives/2009/08/inside-out-interaction-design-for-augmented-reality.php>, 2009
6. Martin-Gutierrez, J. et. al, Design and validation of an augmented book for spatial abilities development in engineering students, Computers & Graphics, Volume 34, Issue 1, 2010
7. Milgram, P., Kishino A. F., Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays, IEICE Transactions on Information and Systems, 1994.
8. Mullen T., Prototyping Augmented Reality, John Wiley & Sons, 2011
9. Poupyrev I., Non-immersive 3D interfaces, 2001
10. Schmalstieg, D., Wagner, D., Experiences with handheld augmented reality, <http://www.icg.tugraz.ac.at/pub/pdf/ismar07keynotepaper/download>, 2007
11. Wagner, D., History of Mobile Augmented Reality. <https://www.icg.tugraz.at/daniel/HistoryOfMobileAR/>, 2010
12. \* \* \*, Situl platformei Layaar <http://www.layaar.com>
13. \* \* \*, Situl platformei Wikitude: <http://www.wikitude.com>
14. \* \* \*, Situl platformei Junaio <http://www.junaio.com>
15. \* \* \*, Situl Qualcomm AR, <https://developer.qualcomm.com/mobile-development/mobile-technologies/augmented-reality>
16. \* \* \*, Situl Web3D Consortium, <http://www.web3d.org/realtime-3d/>