

R³ - Un dispozitiv de intrare configurabil pentru interacțiunea liberă în spațiu

Daniel Cernea

Universitatea Tehnică din Kaiserslautern,
Germania

Gottlieb-Daimler-Straße, Geb. 47, 67663
Kaiserslautern, Germania

cernea@cs.uni-kl.de

Andreas Kerren

Universitatea Linnaeus, Suedia

Vejdes Plats 7, SE-351 95 Växjö, Suedia

andreas.kerren@lnu.se

Achim Ebert

Universitatea Tehnică din Kaiserslautern,
Germania

Gottlieb-Daimler-Straße, Geb. 47, 67663
Kaiserslautern, Germania

ebert@cs.uni-kl.de

Valentina Morar

Universitatea "Politehnica" Timișoara, România

B-dul Vasile Pârvan 2, Timișoara

valentina.morar@gmail.com

REZUMAT

În ultima perioadă s-a abordat tot mai des problema implementării unor dispozitive de intrare care să sprijine interacțiunea 3D prin oferirea a 6 sau a mai multor grade de libertate (degrees of freedom sau DoF). Cu toate acestea, astfel de dispozitive care să fie disponibile pentru interacțiune liberă în spațiu - adică fără a fi necesară o suprafață ca sistem de referință, cum este cazul unui mouse - sunt proiectate doar pentru un tip restrâns de aplicații. De asemenea, aparatele de intrare de acest tip sunt rareori intuitive în utilizare și limitate ca număr. Pentru a combate aceste probleme, în acest articol propunem un dispozitiv de complexitate și costuri de implementare reduse, care poate fi utilizat în spațiul liber și este extrem de configurabil, susținând nativ o interacțiune intuitivă cu variate medii virtuale. R³ (*roll - rostogolire, rotate - rotire, rattle - agitare*) oferă acuratețea necesară pentru navigare și indicare - atât în 2D, cât și în 3D - în aplicații de modelare și jocuri, dar și feedback tactil prin prezența unui trackball, toate acestea într-o manieră orientată spre utilizator. În plus, dispozitivul poate fi trecut ușor în modul de mouse, oferind astfel oricând suport pentru interacțiunea cu sistemele de operare convenționale.

Cuvinte cheie

Interacțiunea om-calculator, dispozitiv de intrare, hardware, interacțiune în spațiu, grade de libertate.

Clasificare ACM

B.4.2 Input/Output Devices; H.5.2 User Interfaces: Haptic I/O, Input devices and strategies, User-centered design; I.3.6 Methodology and Techniques: Interaction techniques.

INTRODUCERE

În timp ce întregi lumi virtuale preiau ecranele calculatoarelor noastre sub formă de aplicații complexe cu 3DUI (3D User Interface sau interfața 3D cu utilizatorul) și jocuri 3D, nevoia pentru dispozitive care permit o interacțiune intuitivă și completă în spațiul tridimensional

este în creștere. Mulți dezvoltatori și producători au recunoscut această oportunitate, răspunzând la cererea tot mai mare în acest domeniu, astfel că în prezent există o gamă largă de dispozitive de intrare pentru calculator care oferă control cvasi-simultan al tuturor dimensiunilor virtuale. Cu toate acestea, cele mai multe dintre aceste dispozitive sunt inflexibile în termeni de hardware (conexiune prin cablu, dependențe de o suprafață de referință) sau software (configurabilitate limitată, utilitate numai în cazul unui set restrâns de aplicații).

Ce se întâmplă însă în cazul în care interacțiunea trebuie să aibă loc în fața unui ecran de proporții mari (de exemplu, ecran proiectat sau matrice de monitoare) sau într-un mediu de realitate susținută virtual (augmented reality sau AR)? În astfel de cazuri, este de o importanță vitală ca utilizatorul să nu fie limitat de către dispozitiv la suprafața de referință, și să se poată deplasa și interacționa în mod liber în spațiul înconjurător.

Pentru a realiza acest lucru este necesar un dispozitiv care să ofere mai multe grade de libertate (DoF) pentru a permite o interacțiune 3D naturală. Incrementarea gradelor de libertate în interacțiunea cu aplicații tot mai complexe este dorită deoarece "cu cât avem mai multe grade de libertate sau dimensiuni, cu atât avem mai multe posibilități" [16]. Această afirmație, originară din fizică, este la fel de valabilă și în lumea virtuală. Pe de altă parte, utilitatea prezenței mai multor dimensiuni controlabile prin intermediul unui dispozitiv scade, dacă accesul la aceste dimensiuni nu este realizat într-un mod intuitiv utilizatorului.

În același timp, un aparat care trebuie să ofere libertate de mișcare utilizatorului trebuie să fie mobil și fizic independent de orice sistem de referință cu excepția mâinii umane. Dispozitivul nu trebuie să constrângă utilizatorul la a se adapta diferitor tehnici de interacțiune atunci când schimbă mediile interactive; utilizatorul trebuie să fie capabil de a-și impune modelul mental (MM) prin configurarea aparatului, rezultând o interacțiune intuitivă și individuală, care poate fi extinsă la mai multe aplicații din domeniul multidimensional.

În această lucrare vom descrie implementarea și funcționalitatea noului dispozitiv de interacțiune în spațiu numit R^3 , care se remarcă prin complexitate și costuri de implementare reduse, dar și prin aplicabilitate și capacitate de configurare. Ulterior, prezentăm scenarii de utilizare și rezultatele unei evaluări a aparatului.

PROIECTE SIMILARE

Dispozitive de intrare cum ar fi 3D Connexion Space Navigator [11] sau GlobeMouse [2] oferă posibilitatea de a explora intuitiv cu ajutorul a 6 grade de libertate un mediu virtual. Deși are o funcționalitate parțial similară cu ceea ce ne propunem în această lucrare, Space Navigator este încă dependent de suprafață și utilizat în principal în combinație cu un mouse [6].

Pe de altă parte, dispozitive de tipul Soap [1] sau Air Mouse [12] susțin interacțiunea în spațiu, dar oferind numai două grade de libertate. Astfel, acestea au un comportament similar cu cel al unui mouse, oferind beneficiul deplasării sau orientării numai în două dimensiuni la un moment dat.

O extindere a acestor capacități este dată de prezența unui accelerometru în dispozitiv, cum ar fi cazul telefoanelor mobile inteligente [7], al telecomenzii Nintendo Wii [15] sau a altor dispozitive particularizabile, cum ar fi XWand [14]. Toate acestea au avantajul de a detecta și interpreta mișcările dispozitivului drept gesturi simple (navigare prin înclinare) sau complexe (gesturi de aruncare) [4].

Există, de asemenea, alternative la aceste dispozitive cu accelerometru inclus [5] care ocupă funcția de controlori de joc și dispozitive utilizate pentru prezentări bazate pe joystick.

Mai mult decât atât, unele dispozitive de intrare pentru controlul și navigarea aplicațiilor tridimensionale dispun de un accelerometru, dar pentru ele această funcționalitate furnizează doar o parte din gradele de libertate. În acest sens menționăm Cubic Mouse [3], un aparat cu 6 grade de libertate pentru interacțiunea în spațiu. Pe lângă un accelerometru, aparatul dispune de trei bețe care pot fi deplasate și rotite pentru formarea celor 6 grade de libertate. Dispozitivul este controlat cu două mâini și dispune de un cablu de conexiune.

Mai aproape de abordarea noastră este dispozitivul Wanda VR [13], care oferă multiple grade de libertate prin intermediul unui accelerometru și al unui joystick. În timp ce acesta este un dispozitiv conceput pentru interacțiunea în spațiu, Wanda necesită un cablu de conectare la calculator și are o interpretare diferită a informațiilor accelerometrului, toate acestea limitându-i flexibilitatea. Altfel spus, Wanda VR este un joystick orientabil, care prezintă aceleași dezavantaje de funcționare ca și un joystick convențional, în special în cazul mișcărilor de navigație de precizie și a răspunsului tactil. Similar acestui aparat de intrare este dispozitivul “two-4-six” [10].

Observăm însă că dispozitivele menționate cu mai multe grade de libertate și utilizare în spațiu liber (în mâna utilizatorului) fie nu suportă nativ interacțiunea 3D, fie nu pot fi utilizate intuitiv ca și un mouse 2D. R^3 oferă posibilitatea de a fi utilizat ca și dispozitiv pentru navigare în spații virtuale tridimensionale, și ca un mouse,

reprezentând o soluție ideală pentru interacțiunea în 2D și 3D, neoferind suport exclusiv aplicațiilor tridimensionale (virtual reality sau virtual environment - VR/VE).

DISPOTITIVUL R^3

R^3 (Roll – rostogolire, Rotate – rotire, Rattle - agitare), prezentat în Figura 1, este un dispozitiv de interacțiune cu calculatorul, configurabil și funcțional în spațiu, care nu solicită prezența unei suprafețe de referință externe. Aparatul este compus dintr-un mouse și un accelerometru cu trei axe. Mouse-ul are caracteristica specială de a încorpora o bilă în loc de roata de scroll, permițându-i deținerea unei funcții secundare de trackball fără fir, conexiunea realizându-se prin Bluetooth. De asemenea, producătorul mouse-ului a ținut cont de funcționalitatea dispozitivului în spațiu drept trackball liber, dându-i dimensiuni și greutate potrivite pentru scenariul menționat.



Figura 1. R^3 este compus dintr-un mouse cu funcțiile de rostogolire (roll), rotire (rotate) și scuturare (rattle) – în partea de sus – și un accelerometru cu trei axe – în partea de jos – în scopul creării unui dispozitiv cu 6 grade de libertate pentru interacțiunea în spațiu. Asamblarea și dezasamblarea reprezintă un proces aproape instantaneu, care să permită o conversie rapidă într-un mouse standard și înapoi.

În timp ce această funcționalitate reprezintă deja un avantaj pentru sarcini de prezentare și indicare, deoarece oferă o interfață 2D intuitivă și larg utilizată în lumea calculatoarelor, în esență acesta este încă un dispozitiv de intrare care nu ia în considerare aspectele de interacțiune în spațiul tridimensional.

Pentru a extinde funcționalitatea trackball-ului în timp ce este utilizat în spațiu, acestuia i se atașează un accelerometru 3D, cu scopul captării orientării sistemului. Aceste informații suplimentare sunt apoi cuplate cu datele trackball-ului și interpretate ca și date de intrare cu 6 grade de libertate. Accelerometrul 3D utilizat se numește WiTilt, fabricat de către firma SparkFun, și reprezintă un circuit cu cost relativ redus.

Costurile scăzute de achiziție au scopul de a susține unul din obiectivele dispozitivului R^3 , și anume acela de obținere a unui aparat financiar accesibil, cu o implementare simplă. Circuitul accelerometrului 3D are o conexiune Bluetooth și sursă de alimentare separate de cele ale mouse-ului. Acest lucru permite o asamblare rapidă și o personalizare ușoară a întregului dispozitiv.

Cele două module pot fi conectate și deconectate printr-un dispozitiv de prindere ieftin și eficient, care asigură cuplarea sistemelor și revenirea la utilizarea separată a trackball-ului sau mouse-ului în modul de indicator în câteva fracțiuni de secundă.

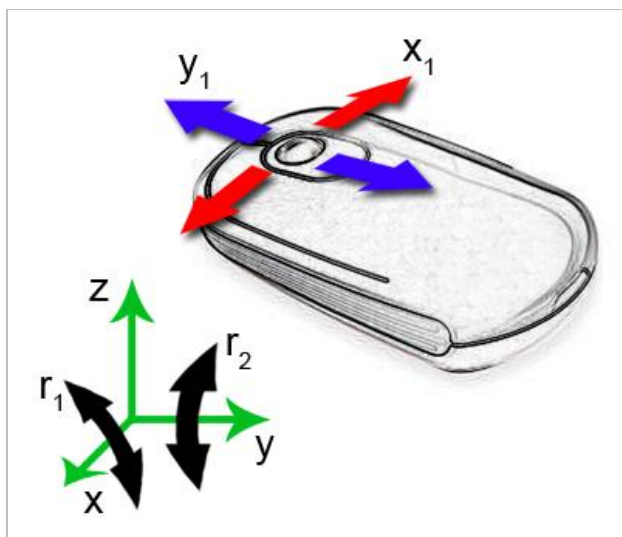


Figura 2. Schema gradelor de libertate elementare oferite de dispozitivul R^3 . Mouse-ul sau bila de scroll încorporată în acesta oferă două grade de libertate, în timp ce accelerometrul poate furniza un maxim de 5 grade suplimentare.

Aparatul astfel obținut este în esență un dispozitiv cu 7 grade de libertate. Două grade de libertate sunt furnizate de către bila mouse-ului, în timp ce din datele accelerometrului 3D se pot extrage până la 5 informații dimensionale (Figura 2). Aceste dimensiuni sunt date de către deplasarea aparatului pe cele trei axe reale (x, y, z), plus de înregistrarea rotirii aparatului în jurul axelor care formează planul vertical. Detectarea acestor rotații este posibilă deoarece aparatul înregistrează încontinuu forța gravitațională IG pe o direcție perpendiculară pe suprafața pământului. Acest lucru explică și nedetectarea rotațiilor în jurul axei verticale z , din moment ce în acest caz valoarea indicată de cele trei accelerometre unidimensionale care compun sistemul aferent tridimensional nu se modifică.

Programul care susține funcționalitatea aparatului primește informațiile elementare de la mouse (x_1 și y_1) și accelerometru (x, y, z), și interpretează aceste variabile în funcție de configurația actuală și de aplicație (vedeți secțiunea următoare). Odată ce comanda care trebuie executată este stabilită, driver-ul aparatului apelează rutinele corespunzătoare ale aplicației de utilizator. Pentru mai multe informații despre R^3 și funcționalitatea acestuia, o scurtă demonstrație video este disponibilă pentru descărcare la adresa: www.cerne.net/R3_hd.wmv.

Interacțiunea cu dispozitivul

R^3 folosește trei interacțiuni de bază, pentru a facilita navigarea și indicarea în diverse aplicații. Prima dintre ele este operațiunea de *rotire a bilei* încorporate, caz în care utilizatorul controlează două axe prin mișcări ale degetului mare. Acest mod de a interacționa este foarte asemănător cu folosirea unui trackball consacrat și evită problemele care apar la folosirea unui joystick în spațiu, și anume precizie și navigație pe distanțe scurte. Mai mult decât atât, feedback-ul tactil este completat de o vibrație slabă și

sunete de clic atunci când bila este rotită, sugerând distanța parcursă.

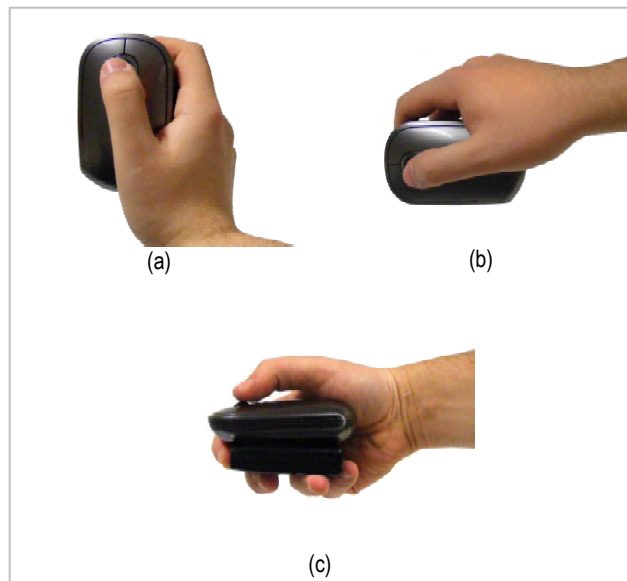


Figura 3. Alinierea dispozitivului R^3 cu cele trei axe reale: (a) verticală, (b) laterală și (c) orizontală. Fiecare poziție de rotație este asociată cu un mod (de exemplu, de tranziție, de rotație, etc). Interpretarea poziției este rezistentă la zgomot, pentru a evita comutarea involuntară între moduri.

Al doilea tip elementar de interacțiune este reprezentat de poziționarea dispozitivului în spațiul real, adică de *rotirea în jurul centrului său*; informațiile aferente poziției/inclinației aparatului sunt furnizate de către accelerometru. Un avantaj al R^3 față de alte dispozitive este dat de faptul că poziția aparatului în clipa începerii interacțiunii nu trebuie inițializată/setată, deoarece accelerometrul detectează forța gravitațională, deducând imediat orientarea proprie în spațiu. Singura restricție este ca în momentul inițierii interacțiunii cu R^3 , aparatul să se afle într-o stare de repaus relativ.

Din datele furnizate ulterior de accelerometru putem extrage starea actuală a dispozitivului: poziție orizontală, verticală sau laterală (Figura 3). Acest lucru este posibil deoarece în fiecare din aceste stări rezultanta forței gravitaționale compusă pe baza celor trei axe ale aparatului trebuie să fie aproximativ egală cu IG .

În timp ce fiecare dintre aceste trei stări are două variante diferite, date de orientare, acestea nu sunt interpretate separat. Acest lucru se datorează faptului că, în fiecare dintre stări, una dintre cele două orientări reprezintă poziții de stres pentru mâna umană [9]. De menționat este însă faptul că cel puțin una dintre orientările aparatului în cele trei stări este accesibilă fără un efort special, din moment ce acest aparat nu este exclusiv controlat din încheietura mâinii, controlul implicând întreg brațul utilizatorului.

Procesul de detectare a modului în care se află dispozitivul este rezistent la zgomot și nu prezintă întârzieri semnificative, din moment ce accelerometrul este suficient de precis pentru a furniza date exacte în timp real. Mai mult, R^3 permite cuplarea a două stări diferite sau utilizarea unei mapări directe între înclinarea aparatului și rotirea punctului de vedere în spațiul tridimensional. De exemplu, când aparatul este ținut la un unghi de 30 până la 60 de grade dintre poziția orizontală și verticală, ambele

moduri pot fi detectate și activate, permițând controlul virtual pe cele trei axe.



Figura 4. Scuturarea dispozitivului de-a lungul uneia dintre axe este interpretată de software-ul R^3 . În funcție de program și de preferințele utilizatorului, aceasta poate avea următoarele semnificații: comutare de mod, executarea unei comenzi prestabilite și altele.

Agitarea sau scuturarea aparatului (Figura 4) pentru o perioadă de timp stabilită prin configurare (de exemplu, mai mult de 0,5 secunde) este o acțiune care poate fi, de asemenea, recunoscută și interpretată de programul și configurația curentă a dispozitivului. Scuturarea este recunoscută de către aparat doar de-a lungul celor trei axe ale dispozitivului. Această comandă este activată prin detectarea unor valori succesive mari în absolut ($|G| > 2$) și alternative (+/-) pe una dintre axe, pentru durata de timp sus menționată. Pentru scuturarea pe verticală, software-ul R^3 va detecta și compensa pentru decalajul creat de constanta înregistrare a forței gravitaționale.

O posibilitate este utilizarea operațiunii de agitare ca o comandă comutator, adică pentru schimbarea între modurile preprogramate disponibile pe aparat (de exemplu, trecerea de la translație la rotație). O altă interpretare posibilă a scuturării de-a lungul uneia dintre axele principale ale aparatului este comutarea între navigare și indicare / selectare într-o lume virtuală (2D / 3D). De asemenea, aplicațiile complexe necesită existența a mai mult de două moduri pentru dispozitiv. Atunci când se întâmplă acest lucru, agitarea de-a lungul celor trei axe principale poate fi asociat cu trei comenzi diferite de mișcare.

ȘCENARII ȘI APLICAȚII

Aparatul a fost evaluat în interacțiunea cu monitoare de dimensiuni mari în spațiul liber, în cadrul aplicațiilor Google Earth (pentru navigație; Figura 5), precum și într-un mediu de modelare 3D (pentru poziționarea camerei virtuale; Figura 6). Forma și dimensiunile dispozitivului permit o aderență bună, în timp ce precizia lui s-a dovedit a fi mai mult decât suficientă pentru aplicațiile menționate. Bila de pe dispozitiv oferă un feedback direct tactil, similar cu cel al unui trackball consacrat. În plus, aparatul a fost reprogramat să emită sunete de clic în momentul rotirii bilei, oferind astfel un răspuns auditiv la interacțiunea utilizatorului.



Figura 5. Interacțiune în spațiu cu un ecran de mari dimensiuni folosind dispozitivul R^3 . Exemplu de aplicabilitate: navigarea în programul Google Earth.

Din punct de vedere a configurațiilor, ne-am propus trei tehnici de interacțiune. În primul scenariu, am considerat o mapare naturală în care rotirea aparatului în raport cu axele fixe, reale, controlează orientarea camerei în mediile virtuale tridimensionale. Ulterior, cu ajutorul bilei încorporate, se face deplasarea de-a lungul celor două axe locale, poziționate relativ față de axele virtuale fixe, în funcție de înclinarea aparatului.

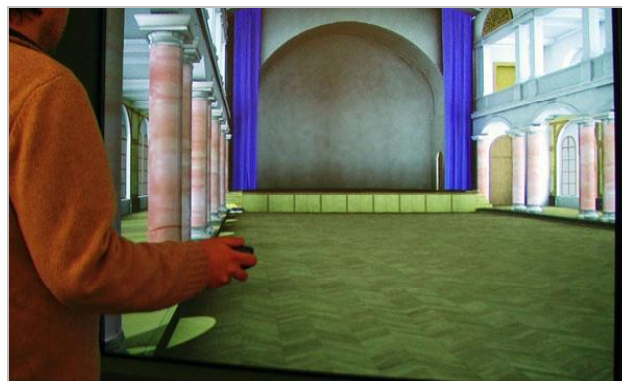


Figura 6. R^3 susține modelarea CAD și gameplay-ul pe ecrane de mari dimensiuni, fără a necesita o suprafață de sprijin, dar oferind precizia unui trackball-ului și o interacțiune cu 6 grade de libertate.

Într-o altă configurație, am luat în considerare trei poziții de bază diferite pentru aparat, așa cum sunt prezentate în Figura 3. Poziții opuse, ca și lateral-stânga și lateral-dreapta, au fost interpretate identic în scenariile de mod (Figura 7).

Fiecare poziție reprezintă un mod al aparatului, și poate fi definită ca fiind fie o poziție de rotație, fie una de translație. În cazul nostru, am considerat poziția verticală ca fiind de rotație, iar cea orizontală și laterală ca și translații. Rotirea bilei în oricare din aceste poziții este interpretată ca o acțiune în modul curent. În acest caz, scuturarea dispozitivului poate fi interpretat liber ca și o comandă personalizată, ca de exemplu o trecere de la navigare la indicare sau invers.

În cea de-a treia configurație, din nou putem roti aparatul la una dintre cele trei poziții de bază. De această dată, fiecare poziție este asociată aceluiași mod, de exemplu translației; din motive de claritate, modul curent al dispozitivului este afișat pe ecran, permițând utilizatorului să identifice starea aparatului. Din nou, rotirea bilei va

executa acțiunile corespunzătoare modului curent. Spre deosebire de configurația anterioară însă, comutarea între moduri (de exemplu, de la translație la rotație) se obține prin scuturatul dispozitivului.



Figura 7. Poziții opuse în care dispozitivul R^3 poate fi ținut. În cazul mai sus prezentat, poziția aparatului este lateral-verticală: (a) prezintă o poziție cu stres ridicat pentru mâna utilizatorului, în timp ce (b) prezintă o poziție relativ relaxată.

Chiar dacă în aparență ultimele două abordări pot fi implementate cu butoane pentru fiecare din stările menționate, utilizarea înclinației pentru selecția mai multor axe de deplasare și control oferă avantajul deducției ușoare a axelor controlate. Altfel spus, aparatul controlează întotdeauna axele cu care este în poziție paralelă sau apropiată, ceea ce duce la o interpretare mult mai intuitivă a dispozitivului printr-o corespondență vizuală directă, fapt sugerat și de evaluarea experimentală.

EVALUARE EXPERIMENTALĂ

Am efectuat o evaluare a dispozitivului R^3 cu 24 subiecți, toți implicați în cercetare în domenii cum ar fi interacțiune om-calculator, vizualizare, realitate virtuală și/sau grafică, deținând astfel o experiență peste medie în interacțiunea cu variate dispozitive de intrare. Grupul prezintă o distribuție relativ omogenă în segmentul de vârstă cuprins între 18 și 45 de ani, sexul persoanelor fiind masculin în raport de 2 la 1.

Am selectat acest grup țintă pentru evaluarea noastră în scopul obținerii unui feedback mai precis de la oameni care percep și interacționează zilnic cu medii virtuale, dar care au în același timp nevoie periodică de-a lungul activității de o interfață 2D, tip mouse. Subiecții au evaluat dispozitivul prin schimbarea între cele trei moduri de bază: de mouse, de trackball și de dispozitiv utilizat în spațiu pentru navigarea tridimensională. Aplicațiile în care s-a realizat evaluarea au fost o instanță a aplicației Google Earth și un mediu de joc first person.

Persoanele au fost rugate să interacționeze cu aceste aplicații, și în același timp, periodic, să intervină asupra unei ferestre bidimensionale, unde să efectueze mai multe operații de indicare, clic și “drag-and-drop”, considerate de bază în interacțiunea cu mouse-ul [8]. Pentru evaluarea sistemului atât în spațiu, cât și pe o suprafață fixă, testele au fost efectuate în fața unui monitor de calculator și al unui ecran proiectat de dimensiuni mari.

Ulterior, persoanele au fost rugate să răspundă la întrebări despre dispozitiv și funcționalitatea acestuia. Aproape toți subiecții au considerat că dispozitivul a fost corespunzător în dimensiune, formă și greutate. Numai o persoană a menționat că aparatul ar putea fi mai ușor.

În ceea ce privește întrebările despre gradul de utilitate, 83% au răspuns pozitiv la interacțiunea complexă la nivel de monitor, în timp ce 87% au susținut interacțiunea oferită de R^3 în spațiu liber în fața ecranului proiectat. În același timp, aproximativ 83% ar folosi personal dispozitivul R^3 pentru navigare în 3D, 79% pentru modelare CAD și 79% pentru jocuri.

R^3 oferă câteva configurații prestabilite pentru o gamă variată de tipuri de aplicații; după prezentarea ulterioară a altor configurații a dispozitivului pentru jocuri din postura primei persoane (first person), procentajul persoanelor care ar folosi R^3 pentru jocuri a crescut la 83%.

Cele mai mari discrepanțe au apărut atunci când subiecții au fost întrebați despre utilizarea intuitivă a dispozitivului în diverse configurații. Precum este sugerat de constatările din [4], funcționarea intuitivă este puternic dependentă de utilizator. Concludent, 41% dintre subiecți au considerat că una sau mai multe poziții ale dispozitivului au avut o interpretare non-intuitivă, dar, în același timp, toate aceste persoane au propus configurații alternative, care s-ar fi potrivit nevoilor lor, și care pot fi aplicate cu ușurință dispozitivului nostru prin intermediul software-ului.

CONCLUZII ȘI PLANURI DE VIITOR

Am prezentat aparatul R^3 , un dispozitiv configurabil de intrare pentru interacțiunea în spațiu, creat prin combinarea unui mouse cu funcționalitate de trackball și un accelerometru. Am scos în evidență avantajele și dezavantajele acestei abordări, precum și metode de interacțiune și scenarii de aplicare.

R^3 oferă o funcționalitate de trackball fără a necesita o suprafață de referință, permițând însă un control de înaltă precizie și un feedback tactil. În plus, dispozitivul poate fi utilizat într-o gamă largă de aplicații, atât în domeniul 3DUI sau VR/VE, unde oferă mai multe grade de libertate pentru acoperirea necesităților de interacțiune, cât și în domeniul 2D, unde poate fi utilizat pentru indicare și navigare ca și mouse sau dispozitiv de prezentare. În cazurile în care interpretarea comenzilor nu este intuitivă pentru utilizator, necorespunzând modelului mental al acestuia, R^3 oferă opțiuni de ajustare care nu reprezintă doar o simplă remapare a comenzilor deja existente.

Pe viitor urmărim îmbunătățirea dispozitivului R^3 prin încorporarea accelerometrului și a mouse-ului într-o singură carcasă comună, ergonomică. Acest lucru va permite o comutare mai eficientă între interacțiunea în spațiu și funcționalitatea de mouse. În plus, unul dintre subiectele principale de viitor este reprezentat de interacțiune cu mai multe ecrane de dimensiuni mari - proiectarea unui mod intuitiv de diferențiere între dispozitivele de afișare prin intermediul dispozitivului R^3 .

MULȚUMIRI

Am dori să mulțumim colegilor noștri Matthias Deller, Peter-Scott Olech și Sebastian Thelen (Universitatea din Kaiserslautern) pentru comentariile și discuțiile avute.

REFERINȚE

1. Baudisch, P., Sinclair, M, and Wilson, A. Soap: a mouse-like pointing device that works in mid-air.

- UIST 2006 (Technote), Montreux, Switzerland, 2006, pp. 43-46.
2. Fröhlich, B., Hochstrate, J., Skuk, V., Huckauf, A.: The GlobeFish and the GlobeMouse: Two New Six Degree of Freedom Input Devices for Graphics Applications. Proceedings of the ACM CHI 2006, pp.191-199
 3. Frohlich, B., Plate, J., The cubic mouse: a new device for three-dimensional input. Proceedings of the ACM SIGCHI 2000, New York, NY, USA, pp 526-531.
 4. Kela, J., Korpipää, P., Mäntyjärvi, J., Kallio, S., Savino, G., Jozzo, L., Marca, D. Accelerometer-based gesture control for a design environment. Personal Ubi- quitous Computing, 10, 5 (2006), pp. 285-299.
 5. Card, S., Mackinlay, J., and Robertson, G. A morphological analysis of the design space of input devices. In TOIS (1991) 9(2), pp.99–122.
 6. Buxton, W., Myers, B. A study in two-handed input. Proceedings of the ACM CHI'86, 1986, pp. 321-326.
 7. Dachselt, R., Buchholz, R. Natural Throw and Tilt Interaction between Mobile Phones and Distant Displays. Proceedings of the ACM CHI 2009, pp. 3253-3258.
 8. Krauss, L., Development and Evaluation of a methodology to examination of interaction devices for machine and process control systems with graphical interfaces, VDI Verlag GmbH, 2003.
 9. Rahman, M., Gustafson, S., Irani, P., Subramanian, S., Tilt techniques: investigating the dexterity of wrist-based input, Proceedings of CHI 2009, Boston, MA, USA, pp. 1943-1952.
 10. A. Kulik, R. Blach, B. Frohlich, "two - 4 - six" - A Handheld Device for 3D-Presentations. In IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI'06), 2006, pp. 167-170.
 11. 3D Connexion: Space Navigator (ian. 2010). <http://www.3dconnexion.com/products/spacenavigator.html>
 12. Gyration: Air Mouse (ian. 2010). <http://www.gyration.com>
 13. Wand/Wanda VR (ian. 2010). <http://www.wandavr.com>
 14. Wilson, A. and S. Shafer. XWand: UI for Intelligent Spaces, In Proceedings of CHI'03, 2003, pp. 545-552.
 15. Nintendo Inc.: Wii Remote (ian. 2010). <http://www.nintendo.com>
 16. Brian Greene. The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory. Edition 2, W. W. Norton & Company 2003, pp. 52.