

Simulator vizualo-tactil (Visuo-Haptic) pentru reprezentarea conceptelor de frecare statică și dinamică

Felix G. Hamza-Lup¹, Elizabeth Murrell¹, James LaPlant¹,
William Baird¹, Dorin-Mircea Popovici²

¹Armstrong Atlantic State University,
Savannah, GA, USA
E-mail: Felix.Hamza-Lup@armstrong.edu

²Universitatea OVIDIUS Constanta,
B-dul Mamaia 124, 900527, Constanta
E-mail: dmpopovici@univ-ovidius.ro

Rezumat. Simulările 3D fac accesibile înțelegerii noastre o serie de concepte abstracte prin modalitățile avansate de prezentare. Cu toate acestea, cele mai multe simulări utilizează doar două dintre cele cinci simțuri: vederea și auzul. Dacă implicăm canalele senzoriale de comunicare suplimentare în aceste simulări, am putea obține o înțelegere superioară a conceptelor prezentate prin lărgirea benzii de comunicare și prin perspectivele alternative oferite. Contribuția noastră se focalizează asupra aplicării simțului tactil în simulările 3D multimodale de predare a unor concepte fundamentale din fizica introductivă. Mai exact, am dezvoltat un simulator visuo-haptic (vizualo-tactil) pentru concepte asociate cu modelele teoretice ale frecării statice și dinamice (de alunecare). Putem emite ipoteza că simulările haptice 3D interactive sunt utile pentru implicarea directă a studenților în domeniul studiat, permițându-le plasarea într-un context foarte apropiat de cel real a materialul teoretic prezentat.

Cuvinte cheie: simulare 3D, interacțiune haptica, frecare.

1. Introducere

Simulatoarele sunt adesea utilizate pentru a prezenta concepte abstracte, dificil de înțeles. Deoarece simulatoarele oferă studenților un context de aplicație a acestor concepte, aceștia ar putea dobândi o înțelegere mai profundă și mai precisă (Dede et al., 1999). Datorită flexibilității simulatoarelor, acestea sunt uneori de preferat experimentelor clasice de laborator. De exemplu, simulatoarele pot fi folosite pentru a ilustra concepte care, într-un context clasic, ar necesita echipamente scumpe pentru vizualizarea lor. Studenții pot

manipula, de asemenea, componente ale unui mediu simulat în moduri care sunt imposibile în unele experimente tradiționale (e.g. Forța Lorentz). În plus, utilizatorul va obține rezultate experimentale consistente, deoarece nu există factori externi care să modifice rezultatul experimentelor.

Domeniul haptic aduce simțul tactil în aplicațiile pe calculator. Acesta permite utilizatorilor obținerea unui feedback tactil, pe lângă reperatele, devenite de acum obișnuite, auditive și/sau vizuale. Simțul tactil este frecvent folosit pentru a înțelege lumea din jurul nostru (Klemmer, Hartmann și Takayama, 2006). Cu ajutorul dispozitivelor haptice, studenții au posibilitatea de a experimenta senzațiile tactile în mediul simulat, permițându-le o înțelegere logică a conceptelor și fenomenelor.

Lucrarea este structurată după cum urmează. În Secțiunea 2 aducem în discuție cercetările similare simulatorului nostru visuo-haptic. În Secțiunea 3 ne concentrăm asupra interacțiunii utilizatorului din punct de vedere vizual și haptic. În Secțiunea 4 prezentăm un experiment practic în contextul unei clase, împreună cu o analiză a rezultatelor acestuia. Încheiem prin câteva observații cu privire la dezvoltarea unui simulator visuo-haptic și evaluarea sa în Secțiunea 5.

2. Alte cercetări în domeniu

Interesul în domeniul haptic a crescut în ultimii ani, în principal datorită potențialelor aplicații de divertisment (de exemplu, jocuri electronice) precum și datorită aplicațiilor pentru pregătirea personalului medical. Scopul nostru actual este să dezvoltăm și să evaluăm eficiența aplicațiilor haptice în domeniul educației, având în vedere eforturile existente la data scrierii acestui articol.

În ceea ce privește învățământul superior, există mai multe eforturi de cercetare în această direcție. Stanford University a dezvoltat un dispozitiv haptic de cost redus, cu o componentă mobilă haptică, pentru a îmbunătăți predarea cursurilor universitare de sisteme dinamice (Richard, Okamura și Cutkosky, 2002). Sistemul a fost adoptat și modificat ulterior de cercetătorii de la Rice University pentru a-l adapta nevoilor lor în cadrul cursurilor universitare (Bowen și O'Malley, 2006). Un grup de la Ohio State University a dezvoltat o serie de activități bazate pe dispozitive haptice pentru a demonstra concepte din fizică pentru studenții în inginerie (Williams et al., 2007). La Universitatea din Michigan două interfețe

haptice, iTouch motor și Box, au fost concepute pentru a fi utilizate la un curs de sisteme dinamice și un curs de sisteme de control integrate (Gillespie, Hoffman și Freudenberg, 2003).

Utilizarea dispozitivelor haptice a cunoscut, de asemenea, o creștere în cadrul educației K-12 (preuniversitară). De exemplu, un microscop atomic permite elevilor de școală generală și de liceu să manipuleze fizic viruși vii prin Internet, astfel încât să consolideze înțelegerea morfologiei virușilor (Jones et al., 2003) și creșterea în mod semnificativ a interesului lor în domeniul științei. Manipularea Virtuală Haptică (Singapogu și Burg, 2009) a fost dezvoltată pentru a ajuta în predarea matematicii pentru studenții cu deficiențe de învățare. Grupul de la Ohio State University a aprofundat explorarea domeniului haptic prin dezvoltarea unui set de tutoriale pentru elevii de liceu în domeniul fizicii (Williams, Chen și Seaton, 2000).

Sankaranarayanan et al. (Sankaranarayanan et al., 2003) au dezvoltat un sistem de modelare a structurilor complexe moleculare bazat pe interfețe haptice. Acum, studenții pot studia molecule care sunt prea dificil de reprezentat într-un manual folosind metoda tradițională cu bile și bețe. Utilizatorii pot să simtă forțele la nivel molecular folosind sistemul de Dinamică Moleculară Interactivă, prin manipularea moleculelor într-o simulare haptică (Stone, Gullingsrud și Schulten, 2001). Universitatea Johns Hopkins a promovat încorporarea simțului tactil în toate nivelurile de educație. De exemplu, ei au sugerat instalarea de interfețe haptice în muzee pentru a contribui la demonstrarea fenomenelor științifice și matematice (Grow, Verner și Okamura, 2007). Universitatea Patras (Grecia) a construit simulatoare pentru a oferi instrucțiuni pentru copii în diverse domenii ale științei, inclusiv fenomene legate de modelarea spațiului și a legilor lui Newton (Pantelios et al., 2004).

3. Simularea conceptelor frecării statice și dinamice

Când dezvoltăm simulatoarele vizualo-tactile, căutăm concepte care implică forțe, astfel încât să putem prezenta aceste concepte dintr-o perspectivă diferită (și, sperăm, superioară). Am ales subiectul frecării din cauza dificultății pe care studenții o au în aplicarea conceptelor în practica problemelor.

Cadrul teoretic definește trei tipuri de frecare: *statică*, care împiedică mișcarea inițială a unui obiect de-a lungul unei suprafețe; *dinamică*, care

înlocuiește frecarea statică o dată ce obiectul este în mișcare și *derulare/rostogolire*, care acționează asupra unui obiect aflat în rostogolire.

Frecarea statică este definită de inegalitatea $F_s \leq \mu_s N$, unde F_s este forța de frecare statică, μ_s este coeficientul frecării statice, și N este forța normală. Valoarea maximă a frecării statice F_s^{max} este egală cu $\mu_s N$. Figura 1 ilustrează forțele care acționează asupra unui obiect care este împins pe un plan înclinat. Putem vizualiza forța normală N (săgeată îndreptată în sus, perpendiculară pe plan), forța F aplicată de utilizator (îndreptată spre dreapta), frecarea statică F_s (îndreptată în direcția opusă lui F) și forța gravitațională G .

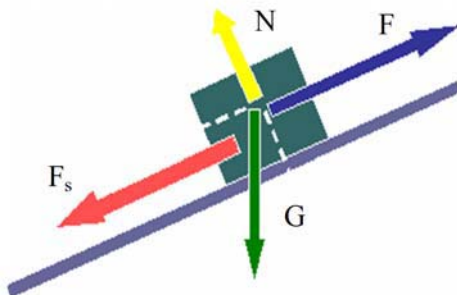


Figura 1. Forțele care acționează asupra unui corp situat pe un plan înclinat.

În aplicațiile practice ale cadrului teoretic, studenții au tendința de a seta $F_s = F_s^{max}$. În funcție de problemă, studenții nu pot fi în măsură să realizeze greșeala lor (de exemplu, atunci când un obiect este împins cu o forță mai mică decât F_s^{max}). Dacă $F_s = F_s^{max}$ și forța aplicată unui obiect este mai mică decât F_s^{max} , blocul se va deplasa în direcția opusă forței aplicate. Din experiență, știm că acest lucru nu se întâmplă.

Cu toate acestea, să presupunem că unui student îi este dată o problemă ca de exemplu cea ilustrată în figura 2, caz în care trebuie să stabilească modul în care componentele sistemului se vor deplasa.

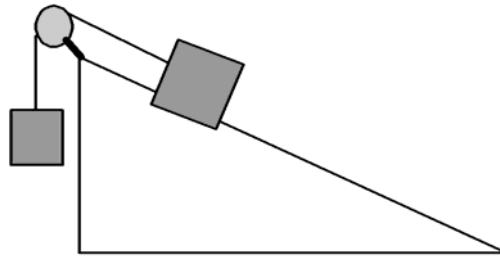


Figura 2. O problemă tipică de frecare.

Deoarece sistemul se poate deplasa în orice direcție sau poate să fie în echilibru, nu există un indiciu care să ajute studenții să realizeze că fac o greșeală prin stabilirea $F_s = F_s^{max}$.

Această componentă dinamică, din păcate, nu poate fi ilustrată într-un manual. O simulare interactivă 3D în care studenții simt forțele ar putea completa materialul didactic în clasă înainte de a trece la experimentarea reală în laborator.

Pentru a oferi o perspectivă diferită asupra frecării care acționează asupra unui bloc situat pe un plan înclinat, am dezvoltat un model visuo-haptic de plan înclinat. În secțiunile următoare vom descrie componenta vizuală (interfața grafică a utilizatorului, sau Graphical User Interface - GUI) și componenta haptică (interfața haptică a utilizatorului, sau Haptic User Interface - HUI). Complexitatea acestor sisteme provine de la necesitatea de a obține o integrare ideală (sincronizare) de percepție a reperelor vizuale și haptice menținând în același timp un nivel ridicat al interactivității.

3.1 Componenta vizuală

În dezvoltarea simulatorului, am utilizat H3D (Application Programming Interface – API) (SenseGraphics AB, 2010), eXtensible 3D (X3D) (Web3D, 2010), și limbajul Python (Python Software Foundation, 2010). Standardul X3D este utilizat pentru dezvoltarea componentelor vizuale 3D ale scenei, în timp ce Python este folosit pentru a defini diferitele forțe ce acționează asupra obiectelor virtuale.

Componenta vizuală a simulatorului constă într-un plan înclinat, un set de meniuri pentru configurarea experimentului și indicatorul vizual al dispozitivului haptic, după cum este ilustrat în figura 3.

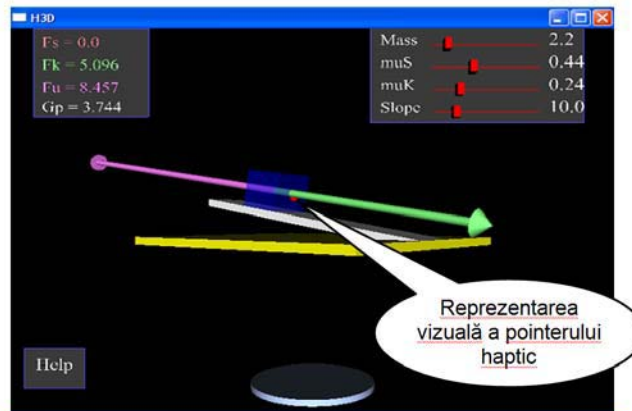


Figura 3. Componenta vizuală a simulatorului. Sfera roșie reprezintă vârful stiloului haptic.

Unul din meniuri, permite studenților să controleze parametrii experimentului. În cazul nostru acești parametri sunt: masa (greutatea) blocului, coeficienții de frecare, și panta planului înclinat. Modificările acestor parametri sunt sesizabile studenților prin intermediul interfeței, atât din perspectiva vizuală cât și din cea tactilă. Echivalențele numerice ale forțelor sunt afișate în alt meniu, care permite studenților să observe în timp real variația magnitudinii forțelor. Pentru îmbunătățirea interactivității, vectorii de forță sunt afișați dinamic sub formă de săgeți de mici dimensiuni având diferite lungimi. Pentru a obține o perspectivă diferită a scenei, utilizatorul poate schimba punctul de vedere prin rotirea unui disc aflat în partea de jos a ecranului.

3.2 Componenta haptică

HUI se bazează pe hardware-ul Novint. Am ales dispozitivul haptic Falcon Novint (Novint Technologies, 2010), datorită compatibilității sale cu H3D API, cu caracteristicile rezoluției haptice a echipamentelor, precum și costului relativ redus. Costul devine un aspect important pentru noi, pe măsură ce plănuiim utilizarea pe scară largă a simulatoarelor noastre în săli de clasă ce conțin treizeci-patruzeci de studenți. Cele mai multe laboratoare de fizică pot fi, de asemenea, îmbunătățite prin conectarea acestor dispozitive la calculatoarele deja disponibile (folosind conexiune USB plug-n-play). Studenții pot folosi acum Falcon Novint pentru a interacționa cu

formele și pentru a simți forțele care rezultă în urma interacțiunii, după cum este ilustrat în figura 4.

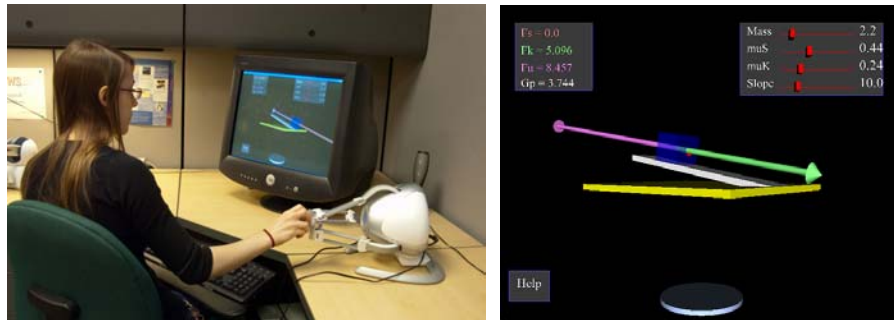


Figura 4. Studentă care utilizează simulatorul haptic de frecare: vedere de ansamblu (stânga), captura de ecran (dreapta).

Din perspectiva implementării, componenta haptică prezintă mai multe provocări. Deoarece dispozitivul Falcon are un volum limitat de mișcare (numit volumul de lucru), este posibilă împingerea corpului într-o zonă inaccesibilă prin aplicarea unei forțe suficient de mari. Deoarece API H3D nu oferă instrumente pentru tratarea condițiilor limită de acțiune a dispozitivului haptic (acesta având un volum limitat de acțiune), am fost nevoiți să aplicăm condiții de limită speciale. În acest sens, am realizat monitorizarea impulsului și poziției corpurilor, definind în același timp un spațiu limitat pentru mișcarea corpurilor în orice direcție. Dacă studentul încearcă să împingă un corp dincolo de acest interval, o forță de anulare a acțiunii studentului este generată asupra corpului pentru a-l păstra în staționare. Dacă, totuși, o forță suficient de puternică este aplicată asupra corpului, aceasta va continua să se miște în funcție de impuls și să încerce să treacă dincolo de limitele stabilite. Pentru a rezolva și acest caz, am inversat impulsul corpului. Efectul unui cub care se lovește de un perete invizibil este perceput de utilizator atunci când sunt atinse limitele volumului de mișcare. Pentru a simplifica punerea în aplicație, am constrâns, de asemenea, deplasarea la o singură axă (axa OX).

4. Designul experimentelor și rezultate

Reamintim că principalele obiective ale simulatorului sunt de a consolida activitatea de învățare a studentului, de a-i capta atenția și de a-l implica în

cercetări interdisciplinare. De asemenea, dorim ca învățământul preuniversitar să poată adopta acest simulator-prototip la un nivel extins, astfel că am analizat cu atenție factorul de cost. O discuție detaliată în ceea ce privește costul va fi prezentată în secțiunea finală. În cele ce urmează, vom descrie cadrul experimental utilizat pentru a măsura în mod obiectiv și subiectiv eficiența simulatorului în raport cu obiectivele de mai sus. Deși dezvoltarea prototipului într-un sistem final se află în curs, am dori să prezentăm un raport privind realizările noastre actuale.

4.1 Studiu pilot al eficienței simulatorului

Am efectuat seturi de experimente pentru a determina impactul simulatorului într-o clasă de colegiu de fizică în primăvara și vara anului 2009. Modelul de experimentare este ilustrat în figura 5. Studenții au participat la o prezentare a conceptelor teoretice ale frecării urmată de o testare (Test 1). Apoi, studenții au fost împărțiți în mod aleatoriu în două grupuri: grupul 1, a efectuat experimente cu simulatorul haptic, și grupul 2, a efectuat o activitate teoretică.

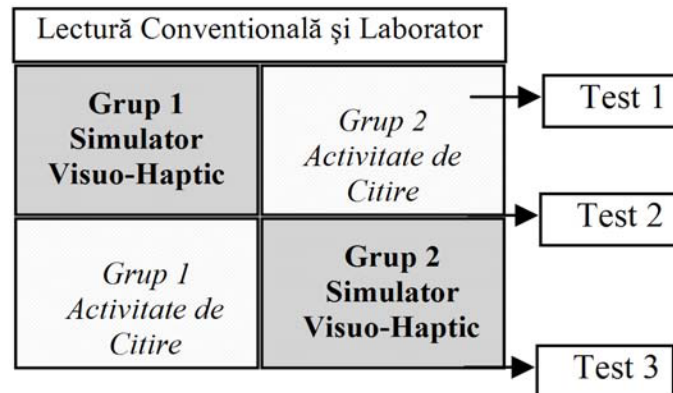


Figura 5. Etapele evaluării inițiale.

A urmat un al doilea test (Test 2) după care grupurile și-au inter-schimbato activitățile. În final, toți studenții au dat al treilea test (Test 3).

Potrivit comparației prezentate în figura 6, în semestrul de primăvară grupul 2 a depășit grupul 1 în mod constant pe parcursul testelor. Acest rezultat se poate datora distribuției aleatorii a studenților în grupuri, fără să fie luate în considerare scorurile lor de testare sau mediile generale.

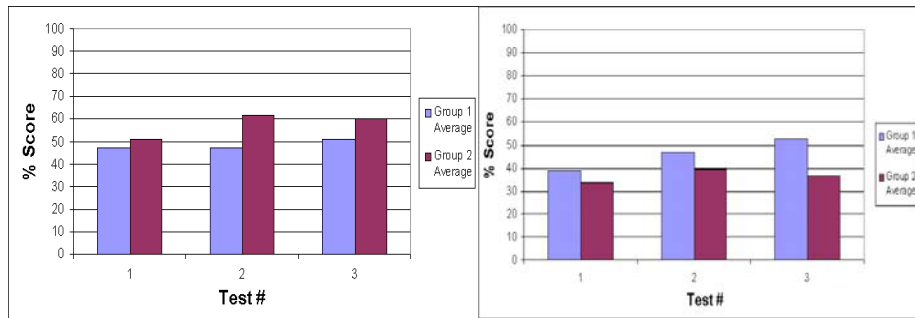


Figura 6. Media notelor grupurilor 1 și 2 obținute în primăvara (stânga) și vara (dreapta) anului 2009.

Nu avem încă o explicație clară pentru aceste diferențe de rezultate, dar am descoperit mai mulți factori negativi care ar putea influența obiectivitatea rezultatelor experimentale:

1. Studenții au fost repartizați în mod aleatoriu în grupele 1 și 2 iar într-unul din grupuri înțelegerea fenomenului de frecare a fost semnificativ inferioară celui alt grup.
2. Laboratorul de fizică tradițională a avut un manual în timp ce simulatorul haptic nu. Manualul furniza studenților explicații despre modul, condițiile de experimentare și de interacțiune cu corpurile situate pe un plan înclinat.
3. Deoarece studenții au fost expuși la o interfață necunoscută (de exemplu, dispozitive haptice), unii participanți s-au concentrat mai mult pe dispozitivul în sine decât asupra experimentului.
4. Am avut doar trei dispozitive Novint Falcon haptice disponibile, astfel încât studenții au trebuit să lucreze în grupuri. Unii studenți nu au avut suficient timp pentru a încerca simularea în ritmul lor propriu.

Pe baza experienței acumulate în acest an, am creat un nou cadru de evaluare experimentală. Pre-testăm studenții pentru a determina nivelul lor de înțelegere a conceptelor generale legate de frecare (a se vedea pre-testul ilustrat în figura 7). Apoi teoria privind frecarea va fi predată într-o manieră tradițională. La sfârșitul acestei sesiuni, studenții vor fi testați din nou pentru a evalua înțelegerea lor legată de concepte de bază teoretice (post-testarea figura 7).

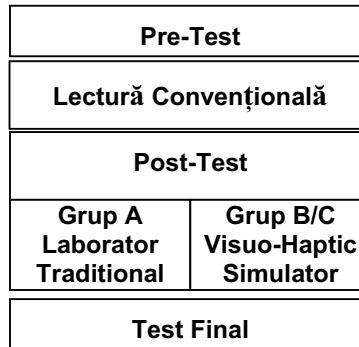


Figura 7. Numele etapelor de evaluare.

Pe baza rezultatelor din pre- și post-teste, studenții vor fi împărțiți în mod egal în trei grupe A, B și C, astfel încât diferența dintre mediile scorurilor pre- și post-teste să fie aceeași pentru toate grupurile. Pentru 30 de minute, studenții din grupa A vor efectua un exercițiu de laborator tradițional măsurând unghiul de înclinare la care blocurile de lemn vor începe să alunece, în timp ce studenții din grupa B vor participa la o activitate bazată pe simulatorul visuo-haptic de frecare. În acest timp, studenții din grupa C, vor utiliza aceeași simulare ca studenții din grupul B, dar vor utiliza un mouse în locul dispozitivului haptic pentru a interacționa cu obiectele virtuale. În toate cazurile, studenții vor lucra în grupuri de câte doi. Acest lucru va oferi fiecărui student 15 de minute de interacțiune cu simulatorul și 15 minute de observare. Un test final va fi administrat concomitent tuturor grupurilor.

4.2 Sondaje de opinie, stimularea atenției studenților

Un efect secundar important al simulatorului îl constituie atenția studenților. Lipsa de familiaritate cu interfața haptică stârnește curiozitatea utilizatorilor și stimulează atenția lor.

În primăvara și vara lui 2009 am efectuat un sondaj de opinie cu ambele grupuri. Studenții de la fizică care au fost intervievați s-au arătat interesați de capacitatea simulatorului de a oferi noi perspective asupra învățării conceptelor asociate cu frecarea. Majoritatea studenților au convenit că simulatorul a demonstrat în mod eficient atât frecarea statică, cât și cea dinamică într-un nou mod, mai intuitiv.

Așa cum am menționat, în cadrul laboratorului de fizică tradițional exista un ghid tipărit, în timp ce simulatorul haptic nu dispunea de un astfel de ghid. Ghidul sugera și explica mai multe posibilități de interacțiune asupra corpurilor pe un plan înclinat. În consecință, am dezvoltat un ghid de laborator pentru simulatorul haptic pentru a compensa lipsa de asistare a studenților în timpul experimentelor.

Sondajele de opinie au fost foarte utile pentru îmbunătățirea interfeței simulatorului cu utilizatorul. Din sondaje am ajuns la concluzia că mediul de navigație 3D a fost principala problemă a studenților. În faza inițială, mulți studenți au avut probleme cu alinierea indicatorului virtual Falcon cu partea laterală a blocului, pentru a-l împinge în sus sau în jos. Unii dintre studenți au sugerat drept necesară modificarea culorii indicatorului în momentul contactului acestuia cu obiectul manevrat, ca indicii vizuale suplimentare celor haptice.

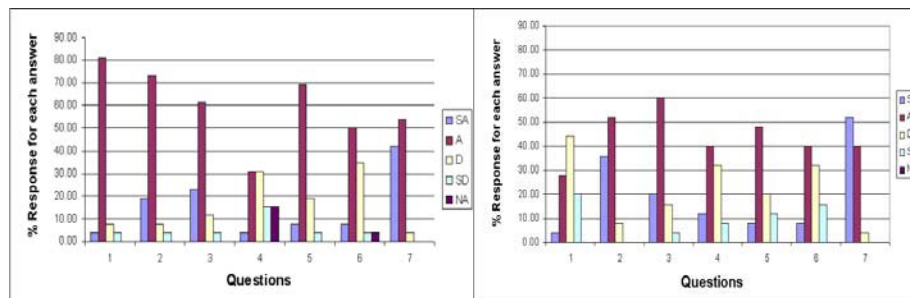


Figura 8. Sondaje de opinie din primavara (stânga) și vara 2009 (dreapta).

O copie a chestionarului este disponibilă în anexă. În timp ce aceste anchete sunt subiective am observat o creștere a interesului studenților în aplicațiile dispozitivelor haptice.

4.3 Cercetare și dezvoltare inter-disciplinară

Studenții de la Informatică/Calculatoare și Fizică au fost implicați în toate fazele proiectului de la analiză până la punerea în aplicare și etapele de testare. Deoarece scopul principal al programului de fizică este fizică aplicată, iar departamentul are doar patru profesori de fizică cu normă întreagă, oportunitățile pentru eforturile de cercetare inter-disciplinară, cu departamentele conexe (de exemplu, informatică) sunt deosebit de valoroase pentru studenții noștri. Implicarea în acest proiect oferă studenților o

înțelegere mai profundă a conceptelor ilustrate. Unul dintre domeniile principale de interes în programul propus este importanța evidentă de interacțiune între lumea fizică și virtuală. Colectarea, procesarea și analiza datelor sunt componentele cheie ale acestui proiect, precum și fizica modernă aplicată în general.

5. Concluzii

Generația actuală de studenți, cunoscută sub numele de *Millennials* sau *Generația Y*, a avut o expunere mare la rețele vaste de tehnologie și sunt mult mai pregătiți în aplicarea acestor tehnologii în medii de învățare decât predecesorii (părinții) lor. Capacitățile de prezentare multimedia în relație cu atenția minimă necesară încurajează studentul în activități de învățare prin metode convenționale pedagogice. Studiile cognitive au arătat că studenții ar fi mai apti pentru a afla dacă metoda de expunere îi captivează. Dacă studenții ar putea aplica familiarizarea cu tehnologii moderne la obiectivele de învățare, ar putea înțelege mai ușor conceptele abstracte și/sau dificile care fac legătura dintre informațiile noi și cele deja cunoscute.

Cercetările în psihologie demonstrează atât faptul că stilurile de învățare variază de la persoană la persoană cât și faptul că nevoile de învățare sunt diferite, în funcție de stilurile cognitive și abilitățile individuale. Diferite regiuni ale creierului implicate în sarcinile spațiale sunt activate prin sinteza intrărilor senzoriale multiple. Kinestezicii constituie aproximativ 15% din populație și se străduiesc să învețe prin lecturare și ascultare. Noi suntem convinși că aplicarea tehnologiei haptice pentru a facilita învățarea conceptelor dificile sau abstracte în domeniul științei vor îmbunătăți nu numai experiența de laborator a studentului și atenția acestuia, dar și interesul pentru un anumit domeniu. Aplicațiile vizuo-haptice pot îmbunătăți abilitatea de învățare în cazul în care simulările sunt dezvoltate cu grijă de echipe interdisciplinare. În plus, domeniul haptic poate oferi un mediu de simulare special, pentru a simți, prin experiență personală efectele fenomenelor fizice.

5.1 Costul

Costul dispozitivelor haptice este mult mai mic decât acum câțiva ani, ceea ce le face accesibile pentru laboratoarele de știință existente. Deoarece

majoritatea acestor laboratoare sunt deja dotate cu calculatoare, adăugarea unei interfețe hardware haptică este la fel de banală, în unele cazuri, ca instalarea mouse-ului. Am ales Falcon Novint din cauza costurilor scăzute ale acestuia, caracteristicile aparatului (inclusiv rezoluția haptică și volumul de lucru), suficient pentru simularea de fenomenelor/conceptelor dorite. În termeni de hardware pentru vizualizare 3D, o soluție fezabilă este folosirea ochelarilor 3D (roșu/albastru) sau polarizați. Componentele software sunt, de asemenea, destul de promițătoare în termeni de costuri. Standardul X3D, suportat de mai multe plugin-uri, ce permit dezvoltarea rapidă a scenelor 3D virtuale într-un browser Web și păstrează interfața grafică 3D și mediu de navigare intuitivă, deoarece cei mai mulți studenți sunt deja experți la navigare pe web. API-ul H3D dezvoltat de SenseGraphics este o bibliotecă, strâns legată de standardul X3D, disponibilă gratuit pentru dezvoltarea de aplicații haptice ce ofera interoperabilitatea cu alte API-uri orientate 3D.

5.2 Obiective

Este important să reamintim că obiectivul nostru nu este de a înlocui instrumentele tradiționale de învățare care funcționează bine. Noi cercetăm concepte abstracte/fundamentale pentru care o simulare visuo-haptică va permite o înțelegere/aprofundare mai bună. Propunem astfel de medii adăugând, mai degrabă, decât înlocuind metodele existente de predare. Suntem ferm convinși că există o mulțime de concepte abstracte care nu pot fi replicate prin experimentare fizică, dar acestea ar fi bine ilustrate prin abordarea visuo-haptică.

Un mediu eficient de învățare trebuie să prevadă o integrare excelentă a percepției (vizuală/auditivă/tactilă), care este nu numai dependentă de sarcina simulată, dar care ar putea fi chiar mai dificil de atins decât integrarea tehnică.

În timp ce integrarea tehnică a senzației tactile (*haptic* sau *force feedback*) este importantă, trebuie măsurat impactul acesteia asupra învățării. După doi ani de experimentare am identificat mai multe probleme în practică și în evaluarea obiectivă a simulatorului. Este necesară folosirea de grupuri de lucru echilibrate pentru obținerea rezultatelor valide. Studenților trebuie să li se facă cunoscute dispozitivele și interfețele haptice înainte de experimente, în etape treptate.

Descoperirea și definirea simuloarelor și instrumentelor de instruire care ar beneficia de feedback-ul haptic este de asemenea o provocare.

Trebuie identificate conceptele care se pretează cel mai bine la o astfel de simulare, și apoi simularile trebuie dezvoltate în așa fel încât să creeze o experiență de învățare, nu doar o simplă simulare.

Referințe

- K. Bowen, and M.K. O'Malley. "Adaptation of Haptic Interfaces for a LabView-based System Dynamics Course". 14th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. Alexandria, VA, p.23, 2006.
- C. Dede, M.C. Salzman, R.B. Loftin, and D. Sprague. "Multisensory Immersion as a Modeling Environment for Learning Complex Scientific Concepts". In Computer Modeling and Simulation in Science Education, 1999.
- R.B. Gillespie, M.B. Hoffman, and J.Freudenberg. "Haptic Interface for Hands-On Instruction in System Dynamics and Embedded Control". Proceedings of the 11th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems (HAPTICS'03), 2003.
- D. Grow, L.N. Verner, and A. M. Okamura. "Educational Haptics". AAAI 2007 Spring Symposia- Robots and Robot Venues: Resources for AI Education, 2007.
- M.G.Jones, A. Bokinsky, T. Tretter, A. Negishi, D. Kubasko, R. Taylor, R. Superfine. "Atomic Force Microscopy With Touch: Educational Applications. Science, Technology, and Education of Microscopy: An Overview", vol. 2, pp. 776-686, 2003.
- S.R. Klemmer, B. Hartmann, L. Takayama. "How Bodies Matter: Five Themes for Interaction Design". Proceedings of the 6th Conference on Designing Interactive Systems (ACM), University Park, PA, pp.140-149, 2006.
- Novint Technologies: Novint Falcon, <http://www.novint.com/>, (ultimul acces, ianuarie 2010).
- M. Pantelios, L. Tsikanas, S. Christodoulou, and T. Papatheodorou. "Haptics Technology in Educational Applications, a Case Study". Journal of Digital Information, 2 (4), pp. 171-178, 2004.
- Python Software Foundation, <http://www.python.org/>. (ultimul acces, februarie 2010).
- C. Richard, A. M. Okamura, M. R. Cutkosky. "Feeling is Believing: Using Force-Feedback Joystick to Teach Dynamic Systems". ASEE Journal of Engineering Education. 92(3), pp. 345-349, 2002.
- G. Sankaranarayanan S. Weghorst, M. Sanner, A. Gillet, A. Olson. "Role of Haptics in Teaching Structural Molecular Biology". Proceedings of 11th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. Los Angeles, CA, 2003.
- SenseGraphics AB, <http://www.h3dapi.org/>, (ultimul acces, martie 2010).
- R.B. Singapogu, T.C. Burg. "Haptic Virtual Manipulatives for Enhancing K-12 Special Education". Proceedings of the 47th Annual Southeast Regional Conference (ACM), Clemson, SC, 2009.

J.E. Stone, J. Gullingsrud, K. Schulten. "A System for Interactive Molecular Dynamics Simulation". Proceedings of the 2001 Symposium on Interactive 3D Graphics (ACM), pp. 191–194, 2001.

Web3D Consortium, <http://www.web3d.org/>, (ultimul acces, martie 2010).

R.L. Williams II, X. He, T. Franklin, and S. Wang. "Haptics-Augmented Engineering Mechanics Educational Tools". World Transactions on Engineering and Technology Education 6(1), 2007.

R.L. Williams II, M-Y. Chen, J.M. Seaton. "Haptics-Augmented High School Physics Tutorials". International Journal of Virtual Reality, vol. 5(1), 2000.

Anexa: Sondajul de opinie

Bifeaza una:

- Student an I
- Student an II
- Student an III
- Student an IV

Pentru fiecare intrebare, vă rugăm să selectați una dintre următoarele:

AT - de Acord în Totalitate.

A - de Acord,

NA - Dezacord,

I - Dezacord Total

NSA - Nu Se Aplică

1. Dispozitivul haptic Novint Falcon a fost ușor de utilizat.

AT A NA I NSA

2. Simulatorul a fost eficient în demonstrarea frecării statice.

AT A NA I NSA

3. Simulatorul a fost eficient în demonstrarea frecării dinamice.

AT A NA I NSA

4. Simulatorul a fost mai eficient în demonstrarea frecării decât un experiment într-un laborator convențional.

AT A NA I NSA

5. Mediul a fost intuitiv și ușor de înțeles.

AT A NA I NSA

6. Navigarea în mediu a fost ușoară.

AT A NA I NSA

7. A fost ușor, să se adapteze parametrii care afectează forța de frecare.

AT A NA I NSA