

Virtuelna laboratorija u teoriji optimalnih rješenja zasnovana na alatima Easy Java Simulations i Moodle

Nataša Popović

Odsjek za automatiku i elektroniku
Elektrotehnički fakultet
Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina
natasa.popovic@etf.unssa.rs.ba

Milica Naumović

Katedra za automatiku
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
milica.naumovic@elfak.ni.ac.rs

Sadržaj— U radu je prikazano kako se koriste softverski alat Easy Java Simulations (EJS) i Moodle okruženje za razvoj i implementaciju interaktivnih simulacija kojima se pristupa daljinski. Razmatran je Snelijusov zakon prelamanja svjetlosnih zraka kao optimalno rješenje. U EJS okruženju je kreirana web laboratorija Snelijus koja je integrisana u Moodle okruženje čime je po prvi put omogućeno studentima da na jednom mjestu pristupaju teoretskim i praktičnim resursima kursa teorija optimalnih rješenja.

Ključne riječi - virtualne laboratorije, EJS, Moodle, varijacioni račun

I. UVOD

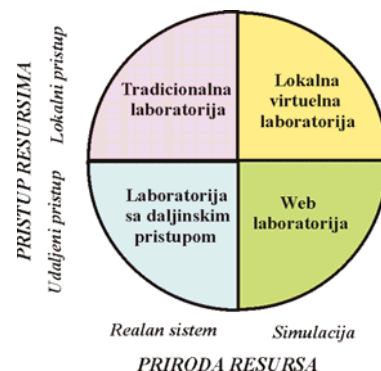
Razvojem informacionih i komunikacionih tehnologija stekli su se uslovi za nastanak novih oblika laboratorijskog rada. Usavršavanje računara dovelo je do pojave prvih softverskih alata koji su omogućavali analizu ponašanja realnih sistema i pojava u obliku simulacije. Razvoj Interneta omogućio je da se takvim simulacijama pristupa preko mreže i, što je još značajnije, da se realnim sistemima pristupa daljinski. To znači da je i laboratorijama moguće pristupiti sa udaljene lokacije i vršiti eksperimente u realnom vremenu koristeći raspoložive laboratorijske resurse.

Danas se eksperimentalna oruženja za obavljanje laboratorijskog rada mogu klasifikovati na osnovu načina na koji se pristupa resursima (daljinski ili lokalni) i na osnovu vrste resursa kojem se pristupa (realan sistem ili simulacija), Sl. 1. Tradicionalni laboratorijski rad podrazumijeva lokalni pristup resursima i obavljanje eksperimenta na realnom sistemu. Ukoliko se lokalno pristupa simulaciji kao resursu, tada se govori o lokalnoj virtualnoj laboratoriji. Ako se realnim sistemima pristupa daljinski, eksperiment se obavlja pomoću laboratorije sa daljinskim pristupom, dok se za daljinski pristup simulaciji koristi web laboratorija.

Prva računarska simulacija korišćena je u Drugom svjetskom ratu kada su matematičari Jon Von Neumann i Stanislaw Ulam pokušali da objasne ponašanje neutrona koji se nasumično kreću. Metoda koju su pri tome koristili je tzv. Monte Karlo (Roulette wheel) metoda. Nakon ogromnog

uspjeha koji su postigli, metoda se uspješno počela koristiti u mnogim oblastima industrije i poslovanja, a u kasnijim decenijama su se razvijale simulacije bazirane na drugim tehnikama. Poslije su nastale animacije i konačno interaktivne simulacije.

Interaktivne simulacije igraju važnu ulogu u mnogim oblastima, a pogotovo u obrazovanju u oblasti automatskog upravljanja. One pomažu studentima da razumiju ponašanje sistema ili pojave koje proučavaju na odgovarajući način. Obično se kreiraju u programskom jeziku Java. Softverski alat Easy Java Simulations (EJS) [1]-[6] omogućava kreiranje sofisticiranih interaktivnih simulacija koje se mogu koristiti u lokalnim virtuelnim laboratorijama, web laboratorijama i laboratorijama sa daljinskim pristupom. Za pristup ovim laboratorijama moguće je koristiti sisteme za upravljanje učenjem (Learning Management Systems - LMS). Oni su bazirani na konstruktivističkoj teoriji učenja i kolaboraciji svih učesnika u procesu učenja, pa tako i laboratorijskog rada. Od mnoštva dostupnih LMS sistema, danas se najčešće koristi Moodle. Potpuni doživljaj izvođenja laboratorijskog rada u kolaborativnom okruženju moguće je postići kada se EJS integriše u Moodle okruženje. Ovo je omogućeno postojanjem posebnog modula za pokretanje i izvršavanje EJS apleta u Moodle-u, koji je postao dostupan za korišćenje u drugoj



Slika 1. Taksonomija eksperimentalnih okruženja

polovini prošle godine [6].

Rad je organizovan na sljedeći način: u poglavlju II navedene su osnovne zakonitosti prelamanja i odbijanja svjetlosti i dat je Snelijusov zakon refrakcije kao optimalno rješenje; poglavlje III ukratko opisuje softverski alat Easy Java Simulations i Moodle. U poglavlju IV dat je primjer virtuelne web laboratorije kreirane u EJS i integrisane u Moodle okruženje koja se koristi u teoriji optimalnih rješenja. Na kraju su predstavljene neki zaključci rada.

II. PRELAMANJE I ODBIJANJE SVJETLOSTI. ZAKON REFRAKCIJE KAO OPTIMALNO RJEŠENJE

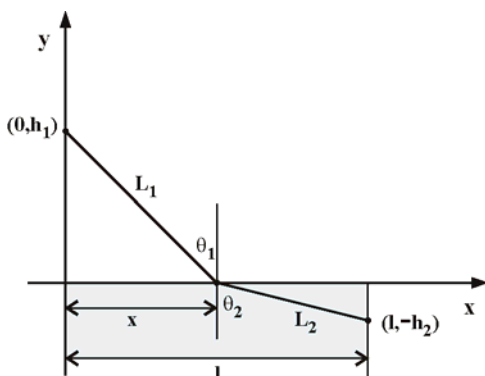
Svjetlost se u homogenoj sredini prostire pravolinijski. Brzina prostiranja svjetlosti u optički rjeđim sredinama je veća nego u optički gušćim sredinama. Za razmatranu sredinu definiše se apsolutni indeks prelamanja ($n = c_0/c$) koji pokazuje koliko puta je brzina prostiranja svjetlosti u toj sredini (c) manja od brzine prostiranja svjetlosti (c_0) u vakuumu [8]. Prilikom prelaska iz jedne sredine u drugu, na graničnoj površini svjetlost se jednim dijelom odbija, a drugim dijelom prelama.

Za odbijanje (refleksiju) i prelamanje (refrakciju) svjetlosti važe Snell-DeCartovi zakoni [8]. Mada datiraju iz prve polovine XVII vijeka, njihovo autorstvo ostalo je nerazjašnjeno, pa je još uvijek predmet interesovanja naučne zajednice [9].

Svjetlost se prelama na prelazu iz jedne u drugu sredinu koje su različitih optičkih gustina, kako je to prikazano na Sl. 2. Pretpostavimo da su l , h_1 i h_2 date pozitivne veličine. Neka je u sredini iznad x -ose brzina prostiranja svjetlosti c_1 , za razliku od brzine prostiranja svjetlosti c_2 u sredini ispod x -ose.

Treba odrediti putanju $(0, h_1) \rightarrow (x, 0) \rightarrow (l, -h_2)$ kojom se svjetlost prostire za najkraće vrijeme. Rastojanja koja svjetlost pređe u sredinama iznad i ispod x -ose označimo redom sa L_1 i L_2 , gdje je

$$L_1 = \sqrt{h_1^2 + x^2} \quad \text{i} \quad L_2 = \sqrt{h_2^2 + (l-x)^2} \quad (1)$$



Slika 2. Prelamanje svetlosti na granici dveju sredina

Vrijeme potrebno svjetlosti da pređe put od tačke $(0, h_1)$ do tačke $(l, -h_2)$ možemo sračunati na način:

$$T = T(x) = \frac{1}{c_1} \sqrt{h_1^2 + x^2} + \frac{1}{c_2} \sqrt{h_2^2 + (l-x)^2} \quad (2)$$

Iz uslova

$$\frac{dT}{dx} = \frac{1}{c_1} \frac{x}{\sqrt{h_1^2 + x^2}} - \frac{1}{c_2} \frac{l-x}{\sqrt{h_2^2 + (l-x)^2}} = 0 \quad (3)$$

nalazimo stacionarnu tačku

$$\frac{1}{c_1} \frac{x}{\sqrt{h_1^2 + x^2}} = \frac{1}{c_2} \frac{l-x}{\sqrt{h_2^2 + (l-x)^2}} \quad (4)$$

Prethodna jednačina može se prepisati na sljedeći način:

$$\frac{1}{c_1} \sin \theta_1 = \frac{1}{c_2} \sin \theta_2, \quad (5)$$

pri čemu su upadni i prelomni uglovi (θ_1 i θ_2) prikazani na Sl. 2.

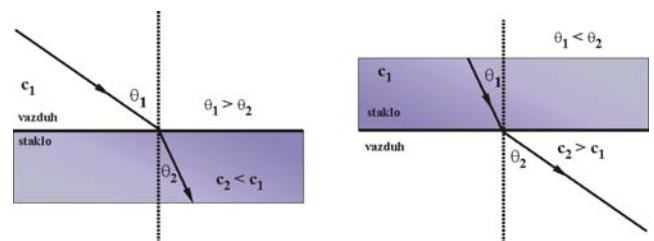
Kako je

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = \frac{1}{c_1} \frac{h_1^2}{\sqrt{(h_1^2 + x^2)^3}} + \frac{1}{c_2} \frac{h_2^2}{\sqrt{(h_2^2 + (l-x)^2)^3}} > 0, \quad (6)$$

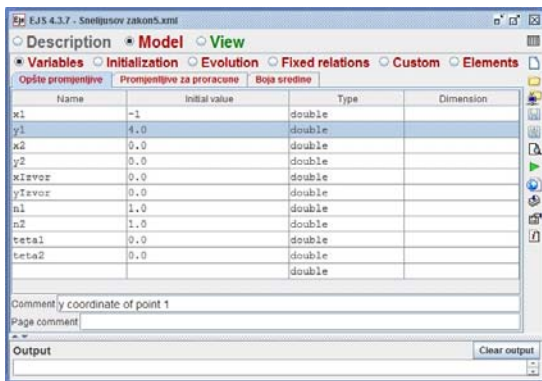
nađena stacionarna tačka, za koju važi uslov (5), je tačka minimuma. Dakle, na osnovu (5) moguće je napisati zakon refrakcije u dobro poznatom obliku

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2, \quad (7)$$

čija je grafička interpretacija data na Sl.3.



Slika 3. Prelamanje svetlosti iz optički ređe u optički gušću sredinu i obrnuto



Slika 4. GUI za definisanje modela u EJS

III. EASY JAVA SIMULATIONS I MOODLE

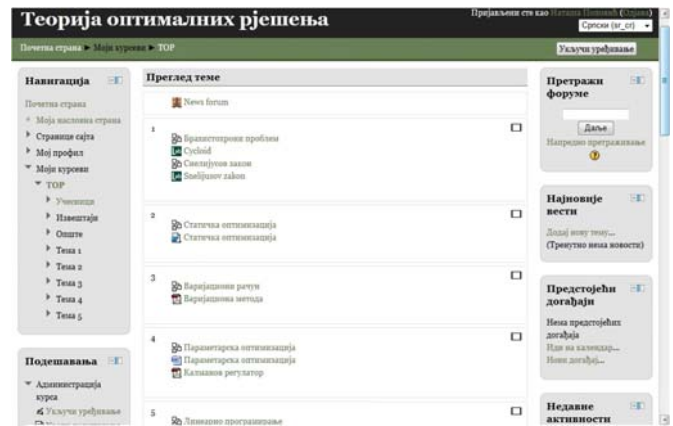
Easy Java Simulations je besplatan softverski alat razvijen za kreiranje interaktivnih simulacija u Javi. Namijenjen je studentima, nastavnicima i istraživačima koji imaju osnovno znanje iz programiranja. Aplikacije kreirane pomoću EJS mogu biti samostalne Java aplikacije ili apleti, dok se izvorni fajlovi EJS aplikacija čuvaju u *.xml* formatu. Grafički korisnički interfejs koji nudi Ejs se sastoji od tri dijela: opisa, modela i vizualizacije, Sl. 4. Opis je dio u kojem se definiše fenomen ili sistem koji se simulira, odnosno u njemu se nalazi teoretski dio neophodan za razumijevanje ponašanja fenomena ili sistema. Model je dio u kojem se definišu promjenljive stanja i parametri i sadrži stranice sa korisničkim Java kodom, diferencijalnim jednačinama kojima se opisuje kretanje sistema, a u njemu se vrši i povezivanje sa eksternim aplikacijama (npr. Matlab, LabView). Vizualizacija se odnosi na vizuelni prikaz aplikacije kao i na elemente korisničkog interfejsa potrebnog za interakciju. Vizuelni prikaz se jednostavno kreira odabirom ponuđenih grafičkih elemenat po principu "drag-and-drop". Model i vizualizacija su povezani tako da se bilo kakva promjena nastala u modelu automatski odražava na vizuelni prikaz i obratno. Detaljnije o EJS se može naći u [1]-[3].

Moodle je najpopularniji LMS sistem. Sastoji se od mnoštva modula koji pružaju različite mogućnosti za nadgledanje procesa učenja i za upravljanje nastavnim sadržajem. Kako spada u open source alate, moguće je da korisnici prema svojim potrebama sami razvijaju dodatne module. Ovo je omogućilo razvoj modula aktivnosti kojim se EJS aplikacije integrišu u Moodle [8].

IV. WEB LABORATORIJA SNELIJUS

A. Kreiranje web laboratorije u EJS okruženju

Web laboratorija Snelijus je kreirana u EJS okruženju za potrebe kursa Teorija optimalnih rješenja. Koristi se za demonstraciju upotrebe varijacionog računa za pronalaženje optimalne putanje kojom se svjetlost prostire za najkraće vrijeme kada se kreće iz optički rjeđe u optički gušću sredinu i obrnuto. Simulacijom su obuhvaćene dvije sredine različitih gustina sa svjetlosnim izvorom. Jedna sredina se nalazi iznad x - ose, a druga ispod nje. Različita gustina sredina je prikazana različitim intenzitetom boja sredina (gušća sredina –



Slika 5. Virtualna laboratorija cikloida pokrenuta kao aplet

tamnija boja). Svjetlosni izvor može biti postavljen u bilo koju od ovih sredina. To korisnik interaktivno podešava mijenjajući vrijednosti indeksa prelamanja.

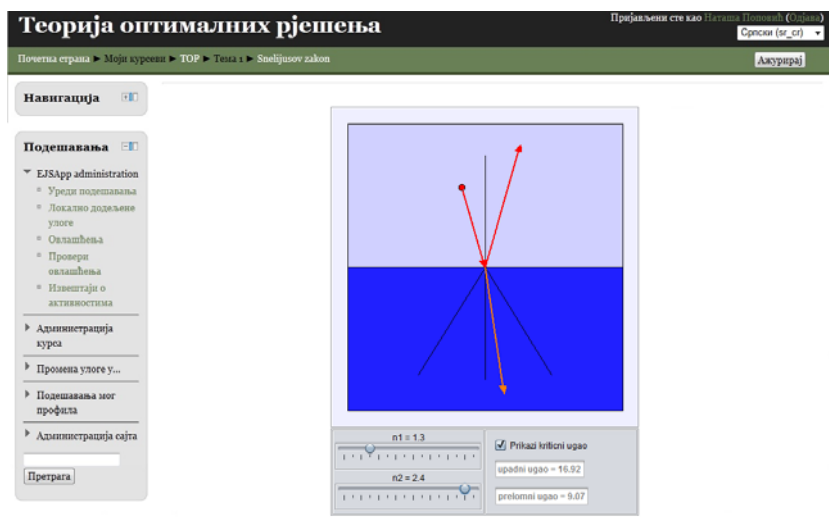
Prvi korak u kreiranju simulacije je definisanje modela (Sl. 3.) pri čemu se određuju promjenljive sistema na odgovarajući način. To znači da se one moraju odabrati tako da na jednostavan način opisuju pojavu koja se simulira, da je vizuelni prikaz vjerno predstavlja i da se obezbijedi jednostavna interakcija korisnika i simulacije. Tako su u odjeljku *Variables* definisane opšte promjenljive koje se koriste za opis kretanja upadnog, odbijenog i prelomljenog zraka, za opis izvora svjetlosti, indeksi prelamanja, zatim upadni, odbijeni i prelomljeni uglovi i slično. Odjeljak za inicijalizaciju (*Initialization*) sadrži početne uslove simulacije, dok odjeljak *Fixed relations* sadrži kratki Java kod kojim se kontroliše izvršenje simulacije.

Vizuelni prikaz (*View*) simulacije je neophodan za kontrolu njenog izvršavanja. Njime su omogućeni grafički prikaz elemenata simulacije i interakcija sa korisnikom. Vizuelizacija simulacije je ostvarena u okvirima za prikaz i panelu za crtanje. U panelu za crtanje se nalaze grafički elementi simulacije (izvor svjetlosti, x -osa, narmala, vektori kojima su predstavljeni zraci...) a u okvirima elementi za interakciju (*checkbox* za prikaz kritičkog ugla, klizači za mijenjanje indeksa prelamanja), te očitavanje vrijednosti upadnog i prelomnog ugla.

B. Pokretanje web laboratorije u Moodle okruženju

Kreirana simulacija se može pokrenuti kao samostalna aplikacija i kao aplet. Za kurs Teorija optimalnih rješenja koristi se kao aplet koji se izvršava u Moodle okruženju (moodle.etf.unssa.rs.ba). Struktura kursa je data na Sl. 5. Kurs je organizovan u tematskom formatu gdje se studentima nude aktivnosti poput lekcije i testova. Kada se studenti upoznaju sa teoretskim dijelom kroz aktivnost lekcije mogu koristiti virtuelnu laboratoriju i pristupiti pokretanju EJS apleta.

Virtuelna laboratorija Snelijus se inicira odabirom linka [lab Snelijusov zakon](#), Sl. 5. Nakon toga se otvara nova stranica sa EJS apletom koji treba da se izvrši, Sl. 6. Pokretanje virtuelne laboratorije se vrši odabirom vrijednosti apsolutnog indeksa

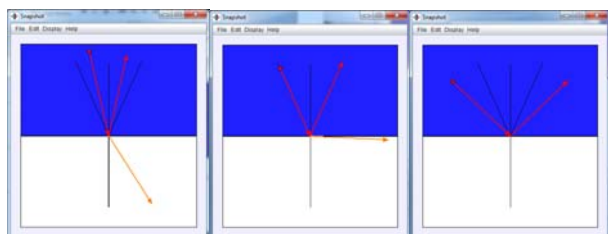


Slika 6. Izvršavanje EJS apleta u Moodle okruženju

prelamanja za jednu i drugu sredinu. Nakon toga student može da slobodno podešava parametre od interesa i na taj način posmatra ponašanje prelomljenog i odbijenog zraka. Upadni i odbijeni zrak su predstavljeni crvenim vektorom koji ujedno označava i njihov pravac i smjer. Prelomni zrak je dat narandžastim vektorom. Kritični ugao je obilježen crnim pravim linijama. Svjetlosni izvor (crvena kuglica u gornjoj sredini) se može interaktivno pomjerati i time mijenjati upadni ugao, te posmatrati promjene prelomnog i odbijenog ugla i u tom slučaju. Pri tome se brojne vrijednosti upadnog i prelomnog ugla trenutačno računaju i očitavaju na apletu (polja upadni ugao i prelomni ugao).

Na Sl. 6. posmatra se prelamanje svjetlosti pri prelasku iz vode ($n=1.33$) u dijamant ($n=2.4$). Sa slike se mogu očitati vrijednosti upadnog ugla (16.92°) i prelomnog ugla (9.07°). Takođe se primjećuje da se upadni zrak prelama ka normali.

Sl. 7. prikazuje primjer prelamanja svjetlosti iz dijamanta u vazduh ($n=1$). Na slikama lijevo i u sredini je prikazano da, u slučaju kada zrak prelazi iz optički gušće u optički rjeđu sredinu i kada je upadni ugao manji od kritičnog, dolazi do refrakcije. Pri tome se upadni zrak prelama od normale. Desna slika je primjer totalne refleksije, odnosno slučaja kada je upadni ugao veći od kritičnog ugla. U tom slučaju ne dolazi do refrakcije već se upadni zrak potpuno vraća u sredinu iz koje je potekao.



Slika 7. Primjeri refrakcije i totalne refleksije dobijeni simulacijom

V. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljen jedan pristup u kreiranju interaktivnih simulacija koje se koriste u teoriji optimalnih rješenja. Pomoću EJS alata napravljena je web laboratorija Snelijus koja demonstrira Snelijusov zakon prelamanja svjetlosti kao optimalno rješenje. Novina u odnosu na dosadašnje radove je to što je web laboratorija integrisana u Moodle okruženje, što je do prije par mjeseci bilo nemoguće. Ovo je omogućilo studentima da u okviru jednog LMS sistema imaju pohranjene resurse kako za teorijsku pripremu, tako i za laboratorijski rad. Dalji rad će biti baziran na integraciji Moodle-a i laboratorije sa daljinskim pristupom.

ZAHVALNICA

Rad je delom podržan od strane Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije u okviru Projekta III44004 (2011-2014).

LITERATURA

- [1] Easy Java Simulations' Home Page. Available: <http://fem.um.es/Ejs>
- [2] The Open Source Physics Project, Available: <http://www.opensourcephysics.org>
- [3] F. Esquembre, Easy Java Simulations: A Software Tool to Create Scientific Simulations in Java, Comput. Phys. Commun., vol. 156, no. 2, pp. 199–204, Jan. 2004.
- [4] J. Sánchez, S. Dormido, F. Esquembre, R. Pastor, Interactive Learning of Control Concepts Using Easy Java Simulations, Available: http://www.imamu.edu.sa/dcontent/IT_Topics/java/ip_2_aad_34290345.pdf
- [5] M. Naumović, N. Popović, B. Popović, Using Easy Java Simulations in Computer Supported Control Engineering Education, ELECTRONICS, Vol. 15, No. 2, pp. 67-72, ISSN 1450 -5843, December 2011
- [6] Jara, C. A. et al.: Synchronous Collaboration with Virtual and Remote Labs in Moodle. Proceedings of the 9th IFAC Symposium on Advances in Control Education, Nizhny Novgorod, Russia, pp. 270-275, 2012
- [7] Moodle. Available: <https://moodle.org>
- [8] B. Đurić, Ž. Čulum, Fizika – optika, Naučna knjiga, Beograd, 1971,
- [9] <http://mintaka.sdsu.edu/GF/explain/optics/discovery.html>.

ABSTRACT

This paper presents Easy Java Simulations (EJS) software tool and Moodle used for developing and implementation of interactive simulations with remote access. Snell's law of refraction is discussed and considered as an optimal solution. A web laboratory Snelijus is developed using EJS and integrated

into Moodle environment. This enabled the theory and lab resources to be available to students on single location.

**VIRTUAL LABORATORY IN OPTIMAL THEORY SOLUTIONS
BASED ON THE EASY JAVA SIMULATIONS AND MOODLE**

Nataša Popović, Milica Naumović