

KOMPJUTERSKA SIMULACIJA ŠIRENJA ULTRAZVUKA U OMEĐENOJ RAVNINI

Bojan Ivančević, Igor Zorić¹ i Marjan Sikora²

Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Hrvatska

E-mail: bojan.ivancevic@fer.hr

¹Fakultet rudarstva, geologije i nafte, Pierottijeva 6, 1000 Zagreb, Hrvatska

E-mail: izoric@rudar.rgn.hr

²Klarina 14, 21000 Split, Hrvatska

E-mail: enter@st.tel.hr

SAŽETAK: Prilikom ispitivanja širenja ultrazvuka u mozgu tijekom neurokirurških operacija kompjuterska simulacija je naadekvatniji način ispitivanja. Da bi se mogla izvršiti simulacija realnih uvjeta, bilo je potrebno osigurati točnost proračuna. Točnost proračuna osigurana je provjerom mjerenjem na fizičkom modelu, koja je potvrdila točnost simulacije širenja zvuka u zraku. Da bi se u simulaciji u obzir mogli uzeti akustička svojstva mozga, bilo je potrebno izvršiti njihova mjerenja. Unošenjem tih parametara u simulaciju bilo je moguće provesti simulaciju realne situacije koja se zbiva prilikom neurokirurških operacija ultrazvučnim skalpelom.

Ključne riječi: ultrazvuk, simulacija, razina zvučnog tlaka, fizički modeli, neurokirurgija, prigušenje u mediju, brzina zvuka, koeficijent refleksije

1. UVOD

U današnje vrijeme prilikom operacija tumora mozga uobičajena je upotreba energetske ultrazvuka. Da bi se razorio nepoćudno tkivo tumora, upotrebljavaju se ultrazvučni skalpeli. Ovi ultrazvučni noževi su praktički neusmjereni, te u okolno tkivo zrače ultrazvuk visoke razine. Ovaj ultrazvuk ima primarnu funkciju da razara tkivo tumora, međutim zbog neusmjerenosti određena količina energije "pobjegne" u okolno, zdravo tkivo. Tu se zvuk reflektira od stijenki lubanje i zbog njene zakrivljenosti fokusira. Fokusiranjem dolazi do neželjenog povećanja zazine energije u nekim regijama mozga. Ukoliko je ta razina energije veća od praga razaranja tkiva, doći će do uništenja tkiva, što može rezultirati oštećivanjem pojedinih centara u mozgu (npr. centar vida, govora, sluha i sl.).

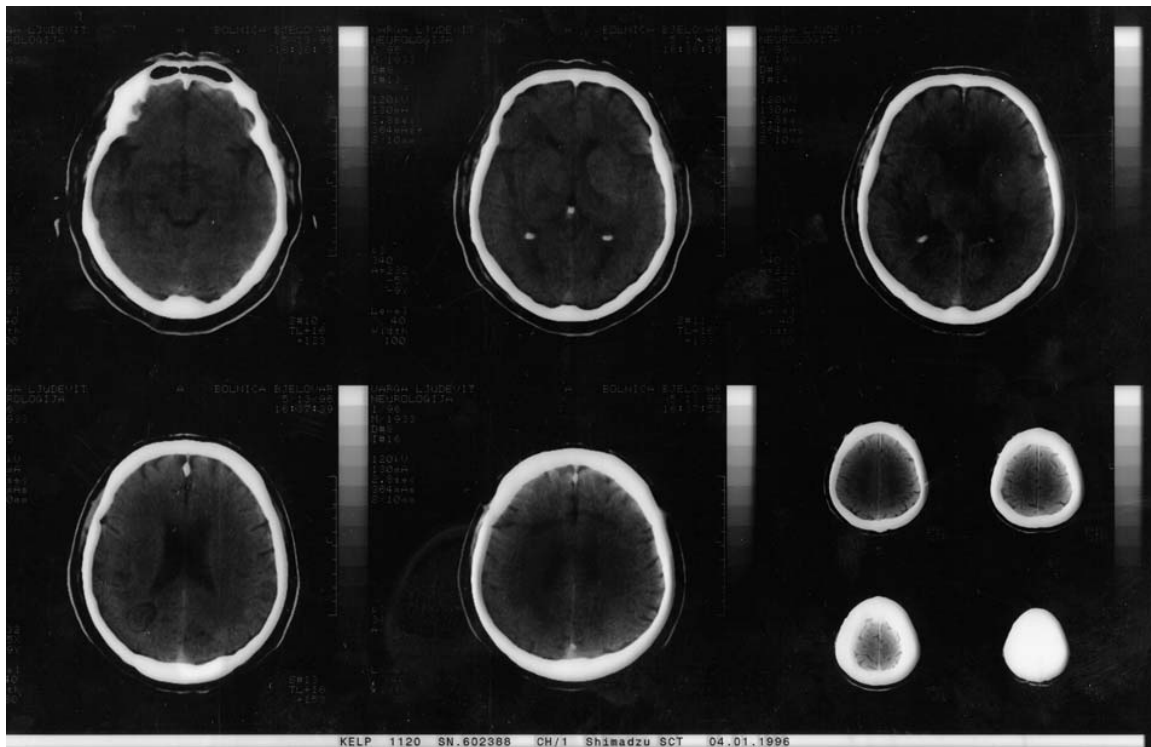
Zbog toga je potrebno ispitati uzroke koji dovode do tih problema, kako bi se moglo pronaći način da se smanji rizik od neželjenih posljedica po pacijenta. U ovom slučaju vrlo je nezgodno provoditi ispitivanja zbog toga što se radi o ljudskom mozgu, pa je potrebno pristupiti alternativnim načinima, a jedan od njih je i kompjuterska simulacija. Upotrebom kompjuterske simulacije izbjegava se

postavljanje etičkih pitanja prilikom rada sa ljudskim mozgom, te se na efikasan i jeftin način (bez utroška materijala) mogu vršiti ispitivanja.

2. KOMPJUTERSKA SIMULACIJA

Kompjuterska simulacija širenja ultrazvuka radi na slijedeći način. U računalu se unesu ulazni parametri, koji u ovom slučaju predstavljaju geometriju lubanje sa njenim karakteristikama, položaj izvora ultrazvuka sa svojim parametrima, karakteristike medija kroz koji se ultrazvuk širi, te frekvenciju zvuka na kojoj sistem radi.

Danas mjerenje i unos geometrije lubanje ne predstavlja problem. Pacijentu se glava snimi pomoću kompjuterizirane tomografije. Nakon toga se CT snimak skenira (Sl. 1). Kada je snimak prebačen u digitalni oblik, potrebno je lubanju podijeliti u segmente. Kada smo to napravili, onda očitamo koordinate segmenata, te u programu za simulaciju unesemo te koordinate. Nakon toga se na ekranu generira kontura lubanje, a svakom segmentu dodijelimo koeficijent refleksije (na frekvenciji na kojoj radi ultrazvučni skalpel).

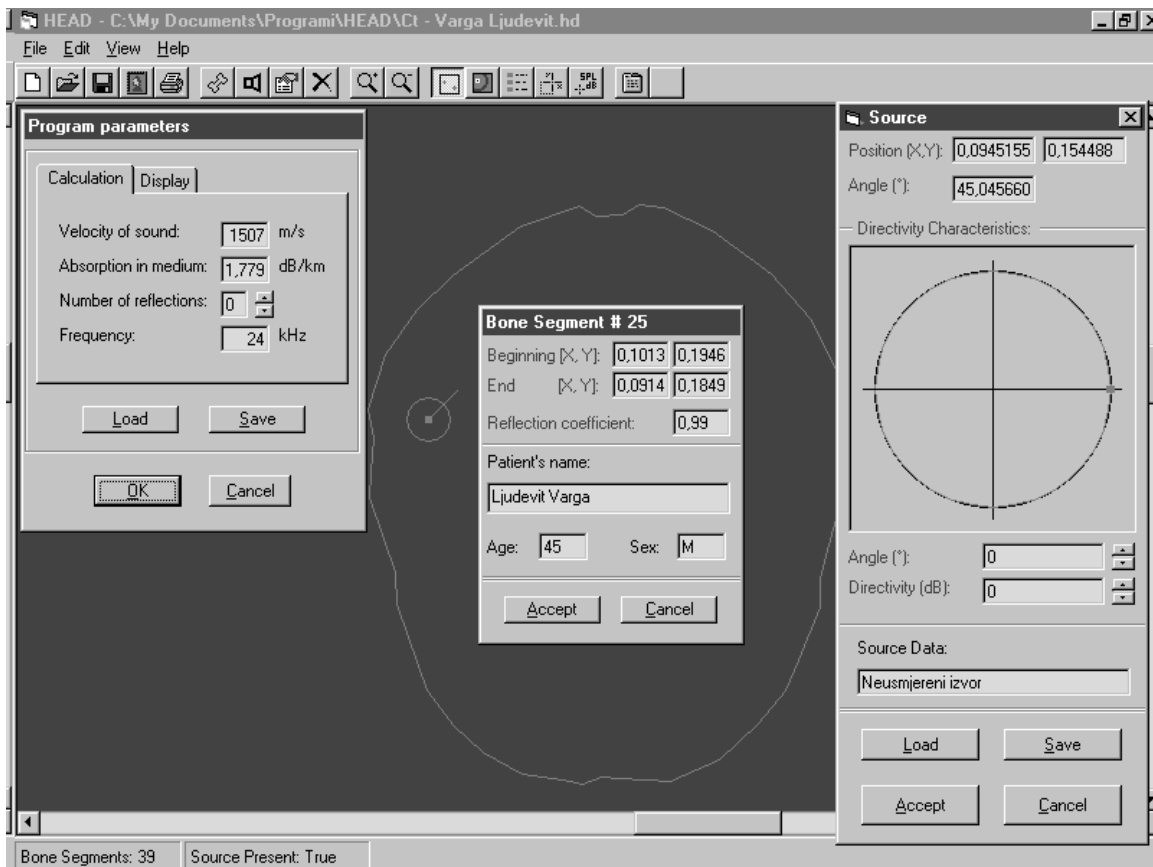


Sl. 1 Skenirani CT lubanje iz kojeg se očitanjem koordinata mogu vektorizirati konture lubanje

Potom se unese položaj tj. koordinate izvora zvuka, koji je u ovom slučaju ultrazvučni nož. Osim položaja potrebno je unijeti i usmjernu karakteristiku, koja je u našem slučaju približno kružnica.

Kada smo definirali lubanju i izvor zvuka, trebamo unosom parametara definirati medij u kojem se ultrazvuk širi, odnosno mozak. Parametri koje je potrebno poznavati jesu:

- brzina zvuka u mediju
- apsorpcija zvuka nastala širenjem kroz medij



Sl. 2 – Akustički parametri medija, izvora i dijelova lubanje

Poznavanjem ovih parametara (Sl. 2) računalo može numerički izračunati promjene koje nastaju širenjem zvuka kao vala kroz mozak.

Nakon što smo u računalu na ovaj način definirali sredinu u kojoj se odvija širenje zvuka, sve je spremno da simulacija počne. Prilikom proračuna računalo u obzir uzima sljedeće uticaje:

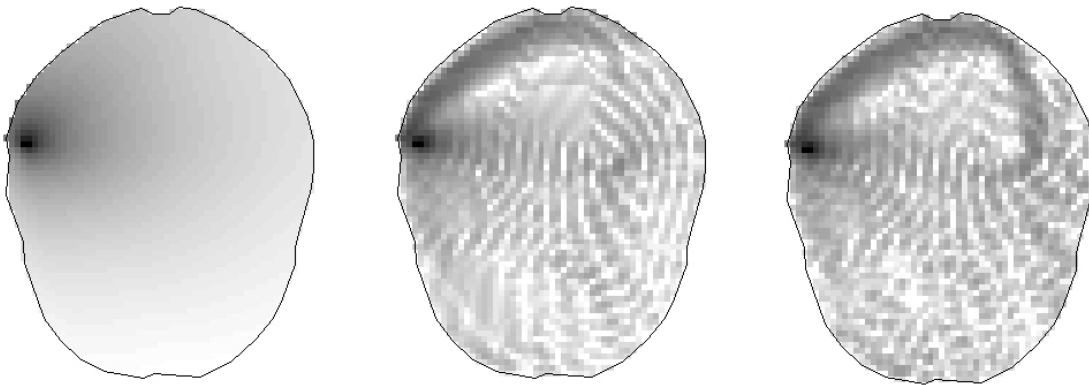
- jačinu zvuka na izvoru
- usmjernu karakteristiku izvora

- apsorpciju zvuka u mediju
- opadanje intenziteta zvuka udaljavanje od izvora
- apsorpcija prilikom refleksije zvuka od lubanje

Uzevši u obzir ove uticaje, izračunaju se razine izravnog zvuka kao i svih postojećih refleksija. Vektorskim zbrojem ovih komponenata dobije se resultantna razina zvučnog tlaka u određenoj točki u ravnini. Ponavljanjem ovog postupka za sve točke na režnju mozga dobija se prikaz raspodjele zvučnog polja u glavi pacijenta.

Zbog velikog broja ponavljanja količina proračuna koju računalo mora izvršiti jako naraste. Stoga se određenim aproksimacijama, koje ne utječu bitno na konačni rezultat, simulacija može ubrzati. To se prvenstveno može postići zanemarenjem refleksija višeg reda. To je dozvoljeno zato jer zbog apsorpcije u mediju, smanjenja intenziteta zbog propagacije i apsorpcije prilikom odbijanja od lubanje, refleksije 3. i viših redova imaju zanemariv doprinos ukupnoj razini zvučnog tlaka. Osim ove aproksimacije, proračun možemo ubrzati i tako da prorijedimo raster točaka za koje vršimo proračun. Povećavši razmak između dvije točke smanjujemo broj točaka za koje računamo razinu zvučnog tlaka, te kao ubrzavamo proračun.

Nakon što je proračun obavljen, potrebno je grafički prikazati rezultate. To se čini tako što se određenoj razini zvučnog tlaka dodjeli određena boja iz spektra, te se u skladu s time prikažu sve točke na režnju. Na taj način zone povišenog zvučnog tlaka, koje su opasne po pacijenta postaju lako uočljive (Sl. 3).



Sl. 3 – Slijeva nadesno: proračun samo s izravnim zvukom; izravni zvuk i prva refleksija; izravni zvuk, prva i druga refleksija. Zbog tiska umjesto boja spektra korištene su nijanse sivog

3. PROVJERA SIMULACIJE, TE PROMJENE NASTALE KORIŠTENJEM NOVOISTRAŽENIH PARAMETARA MOZGA

Da bi bili sigurni da simulacija daje dobre rezultate, izvršili smo provjeru na fizičkom modelu. Zbog etičkih razloga provjeru nije bilo moguće izvršiti u stvarnom okruženju. Stoga smo pristupili izradi modela na kojem smo mogli simulacijom u zraku provjeriti točnost rezultata. Ova provjera potvrdila je ispravnost simulacije - samo na dvije od 16 točaka greška (razlika između izmjerene vrijednosti i vrijednosti dobivene simulacijom) bila je veća od 2 dB. [5]

Drugi problem na koji smo naišli prilikom rada bio je definiranje akustičkih parametara mozga. Naime, dosada akustička svojstva mozga nisu bila posebno ispitana, pa u literaturi nije bilo moguće naći akustičke parametre moždanog tkiva. Kako bi mogli raditi sa dovoljnom točnošću, Dr. Zorić je izvršio potrebna ispitivanja i rezultate objavio u svojoj doktorskoj disertaciji. [6]

Dakle akustički parametri mozga su:

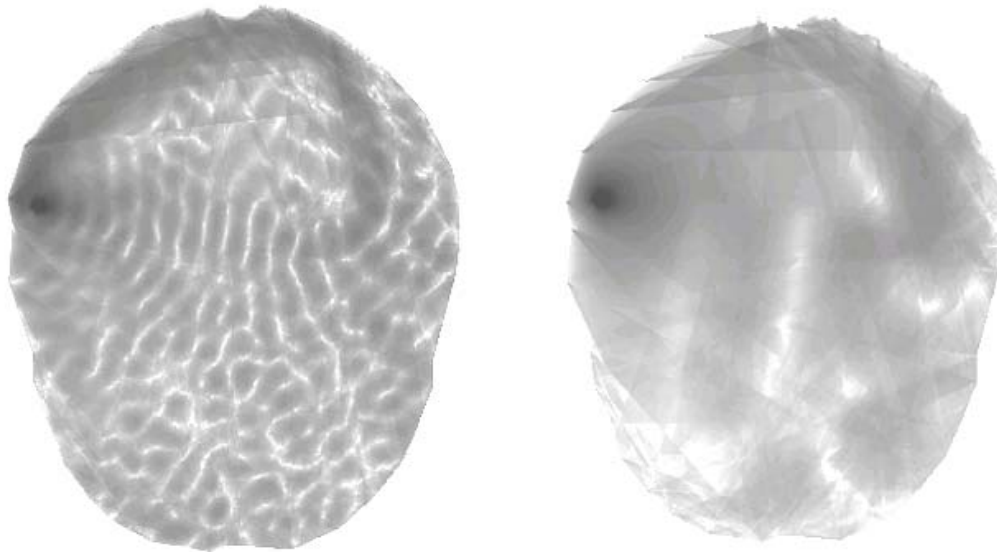
- brzina zvuka u mozgu je $1541\text{--}1546 \frac{m}{s}$ (na temperaturi između 22,5-26,8° Celzijusa)
- specifični akustički otpor mozga iznosi $1.59 \times 10^{-6} \frac{Ns}{m^3}$
- prigušenje zvuka u mozgu je $0.44 \frac{dB}{cm}$

S obzirom da je mozak većim dijelom sastavljen od tekućine – vode, za očekivati je bilo da i akustički parametri nalikuju parametrima vode. Što se tiče brzine zvuka i specifičnog akustičkog otpora, to se i potvrdilo. Međutim za prigušenje zvuka izmjerena je iznenađujuća vrijednost, nekoliko redova veličine veća od očekivane.

Opskrbljeni potrebnim parametrima, a sigurni u provjerenu točnost simulacije pristupili smo provođenju simulacije za realnu situaciju širenja zvuka u glavi prilikom operacije. Nakon unosa parametara (Tablicu 1.) i izvršenog proračuna dobili smo rezultate prikazane na slici 4.

	Zrak (šperploča)	Mozak (kost)
Brzina zvuka	$343 \frac{m}{s}$	$1546 \frac{m}{s}$
Apsorpcija u mediju	$0,05 \frac{dB}{m}$	$0,44 \frac{dB}{cm}$
Koeficijent refleksije	0,922	0,99
Mjerilo	5:1	1:1
Frekvencija	5 kHz	25 kHz

Tablica 1. Usporedba parametara simulacije u fizičkog modela i stvarnog okruženja



Sl. 4 – Usporedba rezultata simulacije za fizički model i simulacije u realnim uvjetima

Na slici su područje veće razine tlaka označena tamnijom nijanskom sivog. Iz slike je vidljivo da je područje najveće razine zvučnog tlaka neposredno oko sonde koja se nalazi u prednjem dijelu uz lijevom rub lubanje (na slici gore lijevo). U slučaju simulacije realnih uvjeta (mozga) razina između najveće razine neposredno oko ultrazvučnog noža i najniže razine, koja je označena bijelom bojom, iznosi 75 dB. I u jednom i u drugom slučaju kao rezultat refleksije o čeonu dio lubanje, uz desni rub se pojavljuje područje povišene razine zvučnog tlaka. U simulaciji realnih uvjeta ta razina je 30 dB niža od najviše razine. Također u simulaciji mozga u stražnjem dijelu lubanje pojavljuju dva područja povišene razine zvuka, 40 dB niže razine od one najveće – oko ultrazvučnog noža.

4. ZAKLJUČAK

Tijekom rada na kompjuterskoj simulaciji širenja ultrazvuka pred nas su se postavila dva pitanja. Prvo je bilo da li simulacija u svojoj sadašnjoj formi, uzevši u obzir određene svjesno primjenjene aproksimacije, daje točne rezultate. Na to pitanje potvrđan odgovor dalo je mjerenje na fizičkom modelu, čiji su rezultati od simulacije odstupali zadovoljavajuće malo. [5] Drugo pitanje, o kojem je ovisila točnost simulacije, bilo je poznavanje akustičkih parametara mozga. Na to pitanje odgovor je dao Dr. Zorić u svojoj disertaciji. [6] Riješivši ta dva problema mogli smo pristupiti simulaciji širenja ultrazvuka u realnim uvjetima, u mozgu. Rezultati simulacije upućuju na prisutstvo područja povišene razine zvučnog tlaka, te sukladno tome i energije u određenim dijelovima mozga. Ova pojava je izuzetno opasna jer može rezultirati nepoželjnim posljedicama u vidu oštećivanja do tada zdravih centara u mozgu. Kako bi se mogao pronaći način da se ovi nepoželjni

efekti uklone, i rizik po pacijenta smanji, potrebno je pristupiti daljnjem usavršavanju simulacije.

5. REFERENCE

- [1] Frederick, J.A., Ultrasonic engieniering., John Wiley & Sons Inc, New York, 1965.
- [2] Jelaković, T., Zvuk sluh arhitektonska akustika., Školska knjiga, Zagreb, 1978.
- [3] Sikora, M., CODA - computerized auralization., Procc. ELMAR, Zadar, 1996, pp. 275-280.
- [4] Zorić, I., Ivančević, B., About some parameters which influence the results of the air-speed by sound measuremets., Procc. XXXI ETAN, Bled, 1987., pp. VI121-VI126.
- [5] Ivančević, B., Zorić, I., Sikora, M., Sound field measurement in the bounded plane, Procc. ELMAR, Zadar, 1997., pp. ???-???
- [6] Zorić, I., Doktorska disertacija, Zagreb, 1997.