

ŽELIMIR RADMILOVIĆ*, ZLATKO KOVAČ**

O nekim mogućnostima korištenja zvuka u kriminalističkom istraživanju

Sažetak

Ovim radom želi se istaknuti potreba da se u kriminalističkom istraživanju pojedinih vrsta kaznenih djela znatnije koriste i istražuju specifični tragovi karakteristični upravo za tu vrstu kriminaliteta. Naime, često svjedočimo neuspješnosti kriminalističkog istraživanja zbog činjenice da postojeće metode osiguravanja, ispitivanja i vještačenja tragova ne obuhvaćaju neke vrste tragova koji se kod takvih kaznenih djela u pravilu pojavljuju. Uz tragove stopala i mirisa, jedno od, kod nas, "nepokrivenih" područja je područje tzv. forenzike zvuka. Konstantna nazočnost zvuka u svakodnevnom životu, pa i pri počinjenju kaznenih djela, otvara mogućnosti primjene traga zvuka u raznim aspektima kriminalističkog istraživanja. U radu su prikazane neke od tih mogućnosti, kao i primjena jednog od jednostavnih i dostupnih programskih alata.

Ključne riječi: *zvuk, akustika, forenzika zvuka, kriminalističko istraživanje, Fourierova analiza.*

UVOD

Zvukovi su nešto što nas okružuje, dio svakidašnje stvarnosti i ako se ne radi o odstupanju od uobičajenog, apstrahiramo ih i ne registriramo. Činjenica njihove permanentne nazočnosti u svakodnevnom životu ne smije se zanemariti, jer se zvukovni tragovi uvelike mogu koristiti u različitim područjima ljudskog života, pa tako i u kriminalističkom istraživanju.

Zvuk možemo "opaziti", registrirati i koristiti u kriminalističkom istraživanju na dva načina. Prvi način, koji se naziva *subjektivno-psihološkim* načinom odnosi se na činjenicu

* Želimir Radmilović, univ. spec. crim., viši predavač na Visokoj policijskoj školi MUP-a RH, Zagreb.

** Zlatko Kovač, dipl. ing. el., policijski službenik – voditelj programa specijalizacije u Odjelu za stručno usavršavanje i specijalizaciju MUP-a RH.

da je zvuk pojava koja se čuje. Dakle, ona se opaža i registrira čulom sluha. Ta činjenica može se koristiti u provedbi radnje prepoznavanja osobe, kada se uz prepoznavanje tjelesnih obilježja – izgleda, može prepoznavati i glas osobe. Uvjet za mogućnost ovakvog korištenja zvuka je čujnost, koja je vezana uz dvije karakteristike zvuka: frekvenciju i glasnoću. Ljudsko uho čuje zvukove određenog područja frekvencija, dok zvukove ispod i iznad tog područja ne može registrirati. Isto tako, čovjek ne može čuti zvukove koji nisu dovoljno glasni, odnosno koji su intenzitetom ispod praga sluha¹. Drugi način je *objektivno-fizikalni*. S obzirom na to da zvuk postoji neovisno o tome je li on u tom trenutku subjektivno doživljen, primjenom znanstvenih i tehničkih znanja i sredstava može se registrirati, analizirati i identificirati egzaktnim metodama².

Kriminalističko istraživanje predstavlja jezgru i onaj sadržaj kriminalistike koji se bavi istraživanjem kaznenih djela temeljem njihovih stvarnih obilježja. Ta obilježja su prije svega materijalne promjene koje nastaju počinjenjem kaznenog djela, a njihovo spoznavanje, istraživanje i razjašnjavanje čini najvažniji dio kriminalističkog istraživanja. U klasičnom poimanju materijalne ili stvarne pojave definira se kroz pojam materijalnog traga i materijalnog dokaza kao materijalnu promjenu nastalu u svezi s ostvarenjem kaznenoga djela (Pavišić i dr., 2006:580).

Uobičajeno materijalnim tragovima se smatraju, i u kriminalističkom istraživanju koriste, promjene oblika i položaja poput otisaka i utisaka prstiju i stopala, mehanoskopskih i bioloških tragova, tragova tvari i drugih tragova, a zapostavljaju se materijalni tragovi kratkotrajnog i promjenljivog karaktera poput mirisa, toplinskog zračenja, hlapljive tekućine, tragova na živim objektima, zvukova, računalnih i drugih sličnih tragova.

S obzirom na obilježja suvremenog kriminaliteta, načine počinjenja nekih kaznenih djela i karakteristike njihovih počinitelja, njihovo znanje, metode i sredstva – smanjuje se mogućnost njihovog istraživanja uobičajenim materijalnim tragovima poput daktiloskopskih, mehanoskopskih, bioloških i kontaktnih. Naime, suvremeni oblici kaznenih djela, koji po svojim stvarnim obilježjima predstavljaju novu pojavu, nešto drukčije traseološke slike od dosada uobičajene, poput razbojništava u novčarskim ustanovama, ne stvaraju mogućnost pronalaženja i eksploatacije takvih uobičajenih tragova jer se počinitelji zaštićuju od ostavljanja tragova prilikom kontakta s mjestom događaja, budu maskirani i slično. Jedan od rijetkih tragova koje susrećemo i kod ovakvih kaznenih djela je zvuk, odnosno glas počinitelja kojim postavlja zahtjev: "Ovo je pljačka, predaj novac!" S druge strane, razvojem znanosti i tehnologije, otvaraju se nove mogućnosti istraživanja takvih kaznenih djela "zapostavljenim" vrstama tragova poput mirisa, zvuka i računalnih tragova.

Nagli razvoj znanosti i tehnologije, a naročito računalne i elektroničke, čini mogućima neke ranije neslućene mogućnosti u područjima registracije, pohrane, obrade i pozitivne manipulacije zvukom. O nekim mogućnostima obrade zvuka uz pomoć odgovarajućeg softvera bit će riječi u nastavku.

Unatoč činjenici da mogućnost registriranja ovakvog traga-zvuka kod većine kaznenih djela iz spomenutog područja postoji, kao i mogućnost njegovog korištenja u

¹ <http://element.hr/artikli/file/1252> - 10. 5. 2010.

² http://www.wam.hr/arhiva/Broj_1/VUKADIN.html - 10. 5. 2010.

kriminalističkom istraživanju kao izvora informacija, analizatora stresa i identifikacijskog sredstva, na implementaciji ove metode ne poduzima se dovoljno³.

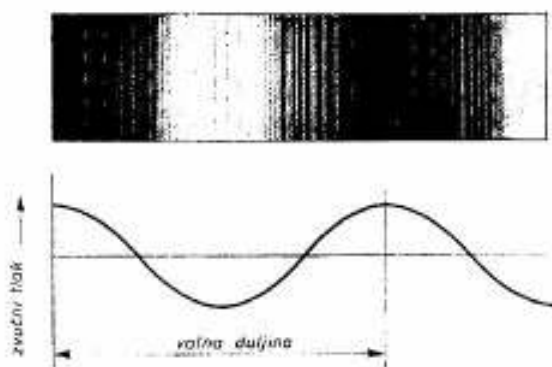
Ovaj rad pokušat će ukazati na potrebu i mogućnosti korištenja zvuka u raznim vrstama i stadijima policijskog postupanja, kriminalističkog istraživanja ili kaznenog postupka, te bi trebao biti skroman doprinos tome da se stručna javnost senzibilizira za uvođenje ove metode u kriminalističko istraživanje.

1. OPĆENITO O ZVUKU

Zvuk se može definirati kao periodičnu promjenu tlaka, koja se širi elastičnim sredstvom određenom brzinom. Kaže se da promjena tlaka titra, odnosno vremenom mijenja svoj intenzitet od najmanjeg do najvećeg i to ljudsko uho doživljava kao zvuk. Moglo bi se kazati da se pod zvukom u širem smislu podrazumijeva svako mehaničko titranje koje se širi elastičnim medijem, dok je zvuk u užem smislu, zvuk frekvencije i jakosti koju može registrirati ljudsko uho.

U akustici, kao i u drugim područjima znanosti i tehnike koja se bave titranjima i valovima, osnovni parametar je frekvencija nekog vala (titraja), odnosno broj titraja neke čestice ili promjena zvučnog tlaka u jedinici vremena, a mjeri se u hercima (broj titraja u sekundi). Ljudsko uho može čuti zvukove frekvencije od oko 16 Hz do oko 20 kHz. Frekvencija je, dakle, osnovna mjera zvuka. Zvuk frekvencije manje od 16 Hz naziva se *infraczvuk*, a onaj frekvencije iznad 20 kHz je *ultrazvuk*. Granice čujnosti kod ljudi su individualne i ovisne o mnogo čimbenika, od kojih je najznačajniji starosna dob. Starenjem spektar (raspon) čujnosti zvukova se smanjuje. Stariji ljudi slabije čuju i niske i visoke tonove.

Također treba razlikovati čiste tonove, složene tonove i šumove. Kod čistog tona radi se o sinusoidalnom obliku titranja, kako na primjer titra glazbena vilica. U prirodi su češći složeni tonovi poput tonova različitih glazbenih instrumenata i ljudskog glasa.



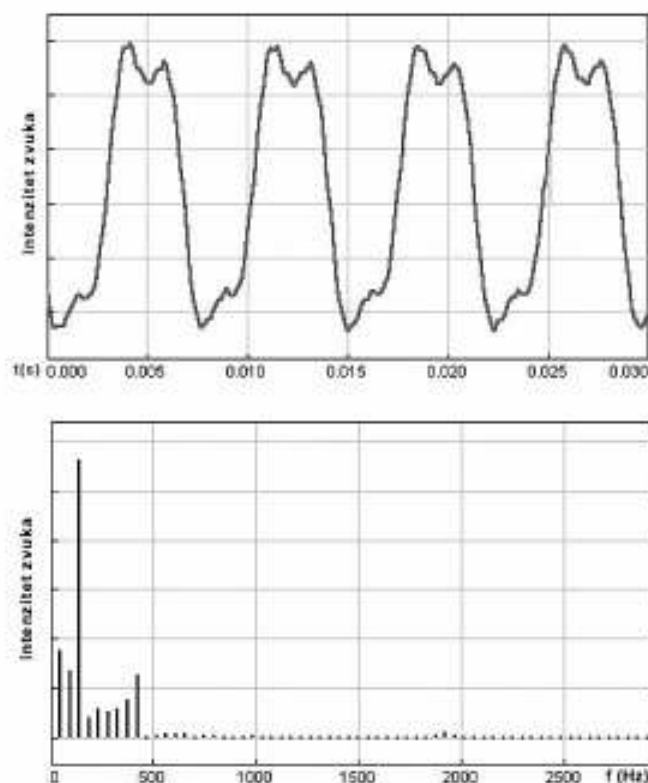
Slika 1: Odnos zvučnog tlaka i duljine vala sinusoidalnog titranja⁴

³ENFSI (*European Network of Forensics Science Institutes*) ima radnu grupu za forenziku glasa i analizu zvuka (*Forensic Speech and Audio Analysis*), čije su članice kriminalističko-znanstveni instituti diljem svijeta koji se bave primjenom zvuka u kriminalističkom istraživanju.

⁴Dickreiter, M., *Handbuch der Tonstudientechnik*, München, Saur Verlag, 1987.

Slika 1 prikazuje odnos tlaka i duljine vala, gdje je stanje visokog tlaka označeno crnim sektorima, a stanje niskog zvučnog tlaka označeno je svijetlim (bijelim) područjima. Jačina zvučnog tlaka prikazana je na y osi, dok je vrijeme prikazano na x osi dijagrama. Zvučni se tlak ovdje mijenja sinusoidalno, a ljudsko uho to čuje kao čisti ton. Sredstvo, kao nositelj promjena tlaka – medij, može biti zrak (plinovi), voda ili čvrste tvari. Zvučni val, kao izraz te promjene tlaka, širi se elastičnim sredstvom (medijem) konstantnom brzinom v . Ta brzina različita je za pojedine medije, i ovisna je o temperaturi i atmosferskom tlaku. Za zrak, pri normalnom tlaku i 20°C iznosi 343 m/s . Tako se, uz poznatu frekvenciju (broj ponavljanja promjene tlaka u jedinici vremena), može odrediti valna duljina zvuka λ , kao odnos $\lambda=v/f$ (λ u m, v u m/s i f u Hz). Fizikalno, λ je razmak između dvije točke najvećeg zgušnjenja ili između dvije točke najvećeg razrjeđenja medija kroz koji se taj val širi. Ovaj razmak naziva se još i perioda zvučnog vala.

Složeni ton može se razložiti na osnovne tonove *Fourierovom analizom*. Svaki periodički zvučni signal sastoji se od osnovnog tona (osnovnog harmonika) pripadajuće amplitude i od mnogo viših harmonika čije su frekvencije višekratnici osnovnog harmonika i čije amplitude padaju prema nuli. To znači da neki složeni ton ima frekvencije: osnovni harmonik f_0 i amplitude A_0 i više harmonike s frekvencijama $2f_0, 3f_0, 4f_0, 5f_0$, itd. Tako Fourierovom analizom prelazimo iz vremenskog prikaza nekog zvuka u frekvencijski prikaz (frekvencijsku domenu), koja nam prikazuje složeni zvuk rastavljen na njegove frekvencijske komponente s pripadajućim vrijednostima njihovih amplituda.

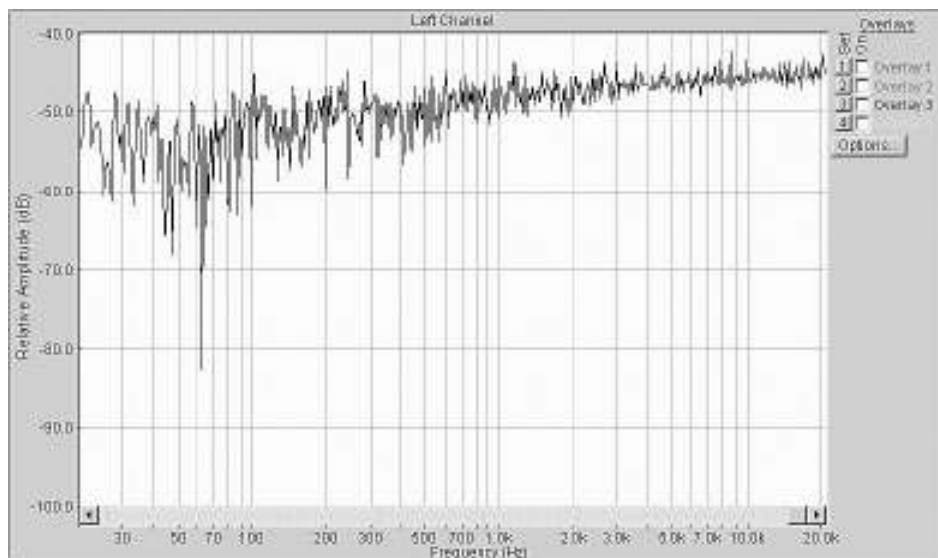


Slika 2: Prikaz složenog zvuka u vremenskoj i frekvencijskoj domeni

Slika 2 prikazuje jedan složeni zvuk (periodički ali nesinusoidalni) prvo u vremen-skoj domeni – promjena intenziteta zvuka s vremenom (gore), a zatim taj zvuk rastavljen na svoje frekvencijske komponente s pripadajućim amplitudama u frekvencijskoj domeni (dolje). Na ovom prikazu vide se različiti iznosi amplituda pojedinih frekvencijskih kom-ponenata što predstavlja karakteristiku danog složenog zvuka. To znači da će za neki drugi zvuk iznosi ovih amplituda biti drugačiji i time će se čujno razlikovati ovaj zvuk od onog prethodnog.

Odnos viših harmonika u nekom složenom tonu određuje boju tona. Ljudsko uho veoma je osjetljivo upravo na tu boju tona, pa nam to svojstvo omogućuje razlikovanje muzičkih instrumenata, ljudskih glasova i ostalih zvukova. Isti ton, dakle, odsviran na različitim instrumentima, različito doživljavamo upravo zbog različitog spektralnog sastava istog tona koji je uvjetovan konstrukcijom pojedinog instrumenta.

Šumovi nemaju svoju tonsku prepoznatljivost i određenost. To su zvukovi koji sa-drže komponente frekvencijskog spektra u čitavom čujnom području i koje se stohastički pojavljuju. Ovisno o energetskej raspodjeli frekvencijskih komponentata razlikujemo bijeli šum, ljubičasti šum i Brownov šum (neki ga zovu i crveni šum). Tim redosljedom pada i intenzitet viših frekvencija u zvučnom spektru.



Slika 3: Prikaz bijelog šuma na analizatoru frekvencijskog spektra

2. O NEKIM MOGUĆNOSTIMA PRIMJENE ZVUKA U KRIMINALISTIČKOM ISTRAŽIVANJU

Audioforenzika, zahvaljujući prije svega napretku informatičke tehnologije, ima vrlo široke mogućnosti primjene u kriminalističkom istraživanju. Dio tih mogućnosti našao je svoju primjenu u sigurnosnim, policijsko-istražnim i privatnozaštitnim sustavima suvremenih zemalja, a prije svega u područjima prepoznavanja glasa i zvuka, analize čujnosti, poboljšanja (pozitivne manipulacije) čujnosti i razumljivosti, analiza autentičnosti audiosnimke, analiza sekvence akustičnog događaja, dekodiranje dijaloga, analiza raznih drugih tonskih signala.

2.1. Prepoznavanje glasa i zvuka

Riječ je o komparaciji poznatog i nepoznatog glasa kako bi se odredio identitet nepoznatog glasa. Metoda se temelji na jedinstvenim fonetskim karakteristikama (osobitosti) glasa svake osobe. U postupku se koristi vremensko-frekvencijsko-amplitudna spektrografska analiza audiosignala koja se izvodi na računalu. Komparacija glasova temelji se na utvrđenim podudarnostima i razlikama elemenata govora kao što su frekvencijski opseg, osnovna frekvencija, izgovor vokala, visina glasa, energija formantata⁵, način disanja kod izgovora, nazalna rezonancija i posebne karakteristike govora (npr. zbog bolesti, nedostatka zubi). Prepoznavanje zvuka također se temelji na komparaciji poznatog i nepoznatog zvuka, kako bi se odredio identitet nepoznatog zvuka.

2.2. Analiza čujnosti

Odnosi se na rekonstrukciju nekog zvučnog događaja, kako bi se odredilo može li taj događaj čuti osoba normalnog sluha. Također se utvrđuje je li zvučni događaj bio pomućen nekim drugim maskirajućim signalima. Ovom metodom može se provjeriti iskaz svjedoka ili drugog sudionika događaja koji je/nije čuo zvuk važan za kriminalističko istraživanje.

2.3. Poboljšanje čujnosti i razumljivosti

Tehničkim postupcima kao što su ekvalizacija⁶, kompresija⁷, ekspanzija⁸, povećanje, limitiranje i normalizacija amplitude i harmonijsko obogaćivanje mutnog i nerazgovijetnog signala, obrađuje se audiosignal i na taj način se poboljšava čujnost i razumljivost. Kada je potrebno analizirati karakteristike govora ili identificirati govornika, važno je raspolagati razumljivim audiozapisom⁹. Naime, nerijetko su audiozapisi koji se analiziraju puni raznih šumova, brumova, krčanja, pištanja, pucketanja i ostalih neželjenih signala koji "maskiraju" korisni signal – govor. To je razumljivo, jer je način prikupljanja – snimanja takvih spornih uzoraka takav, da se ne mogu izbjeći i prateći zvukovi poput glasne glazbe, zvuka mobitela, žamora okoline, šuma klimatizacijskog uređaja, šuma kiše i vjetra, buke prometa, udaljenost i promjena udaljenosti i položaja snimanog objekta i brojni drugi. U postupku analize zvuka potrebno je "očistiti" dobiveni audiozapis, tako da se iz njega "izvuče" predmetni zvuk ili govor s najvećom mogućom razumljivošću. Ova metoda posebno je važna pri provedbi tajnog snimanja, nakon kojeg je potrebno izolirati glas relevantne osobe i učiniti ga čujnim i razumljivim.

2.4. Analiza autentičnosti audiosnimke

Pitanje autentičnosti zvučnog zapisa vrlo je važno u postupku procjene vjerodostojnosti informacije koju nosi taj zapis, ali i u dokaznom postupku, gdje je potrebno dokazati njegovu autentičnost. Ovom analizom utvrđuje se autentičnost/neautentičnost spornog

⁵ <http://cslu.cse.ogi.edu/tutordemos/SpectrogramReading/ipa/formants.html> - 10. 5. 2010.

⁶ Izdizanje i potiskivanje određenih frekvencija ili područja frekvencija.

⁷ Smanjivanje dinamike audiosignala.

⁸ Povećavanje dinamike audiosignala.

⁹ Predmet ekspertize – analize zvuka može biti samo audiozapis.

audiozapisa u smislu razjašnjavanja sumnje na manipuliranje načinjenim izmjenama poput nadosnimavanja i brisanja. Utvrđuje se je li riječ o originalnom ili audiomontiranom tonskom zapisu. Postupci ove analize uključuju slušnu, frekvencijsku, energetsku, amplitudnu i formantno-strukturalnu analizu materijala, ali i vizualno fizikalni pregled medija pod povećalom ili mikroskopom zbog mogućih fizičkih preinaka, kad je npr. dio strane magnetofonske trake umetnut u originalnu traku. Izrađuje se fotografska i druga tehnička dokumentacija rezultata analize.

2.5. Analiza sekvence akustičnog događaja

Odnosi se na utvrđivanje je li se neki događaj, koji je trebao biti zabilježen audio-video snimkom nadzornih tehničkih uređaja, dogodio ili ne. Ova analiza koristi se, na primjer, u području zrakoplovnih nesreća. Naime, kabinski prostor zrakoplova se snima, te se temeljem takvih snimki može istraživati ponašanje pilota tijekom leta i detektirati eventualne pogreške i tehničke kvarove. Tako, na primjer, kada pilot manevrira zakrilcima aviona čuje se karakterističan, jedinstven zvuk. Analizom i obradom nadzorne snimke može se izlučiti takav zvučni signal, sinkronizirati se s kronologijom leta, te na taj način utvrditi jesu li, i u koje vrijeme, određeni postupci i manevri bili poduzeti.

2.6. Dekodiranje dijaloga

Riječ je o utvrđivanju sadržaja onog što je bilo izgovoreno na audiosnimci spektrografskom analizom uzoraka glasa. Dekodiranje dijaloga više spada u područje fonetike.

2.7. Analiza drugih tonkih signala

Radi se o području koje je važnije za kriminalističko istraživanje u stadiju prikupljanja obavijesti i otkrivanja kaznenih djela, a manje je važno za kazneni postupak. Takvom analizom mogu se pribaviti razne korisne informacije poput razgovora u pozadini, taktova određenih strojeva na mjestu događaja, frekvencije gradske mreže na određenoj geografskoj poziciji gdje je audiozapis snimljen, odjek prostorije ili karakteristike pucnja – što može biti jako važno za utvrđivanje određenih činjenica vezanih uz mjesto događaja, svjedoke, okolnosti događaja i slično.

3. PROGRAMSKI ALATI

Većina ranije opisanih forenzičnih analiza obavlja se na računalu korištenjem odgovarajućeg forenzičnog softvera. S obzirom na to da se radi o specifičnom i uskom znanstveno-tehničkom području, na tržištu ne postoji mnogo proizvođača programa i alata za audioforenziku. Neki od trenututačno poznatijih jesu: *CEDAR Cambridge Forensics*, *Diamond Cut Productions*, *Audio Forensic Center*, *CSITech*.

3.1. DC Live/Forensics Audio Laboratory, Version 7.5

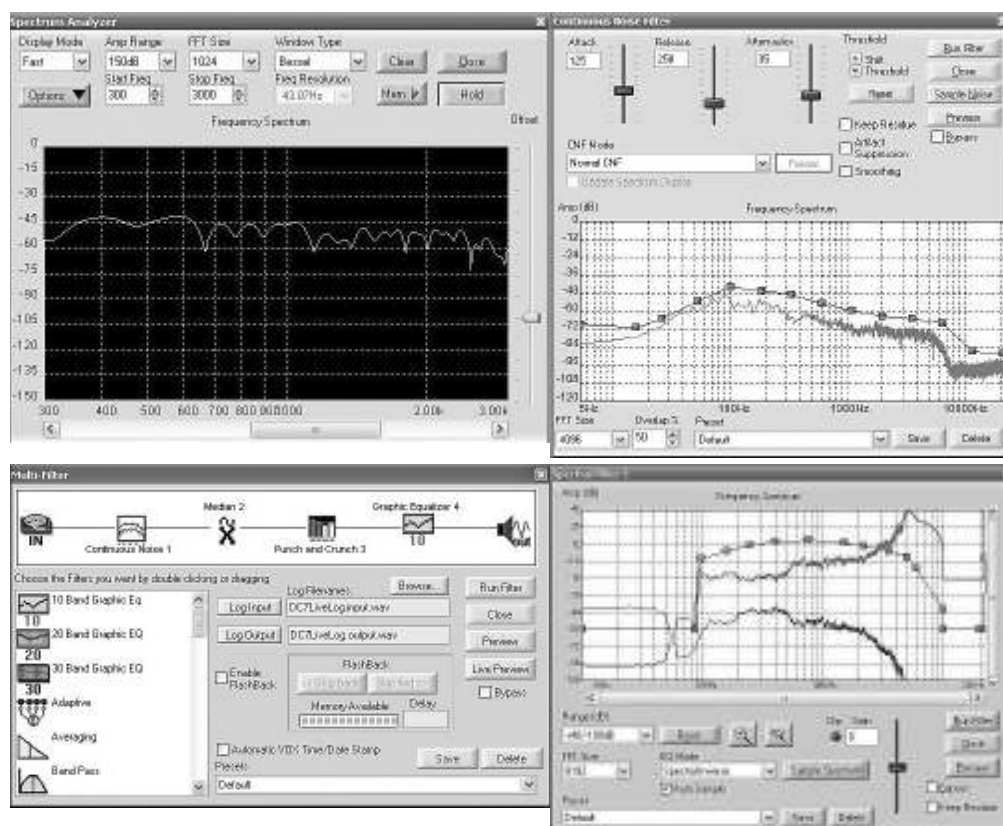
U ovom radu detaljnije je prikazana aplikacija *DC Live/Forensics Audio Laboratory, Version 7.5* tvrtke *Diamond Cut Productions*, koja nudi niz alata za obradu, arhiviranje i produkciju audiodatoteka različitih formata.

Jezgru programa čini skup audiofiltera, kao najvažnijih alata za "čišćenje" forenzičnog audiomaterijala. Postoje filtri za potiskivanje impulsnih šumova (kratkotrajni neželjeni čujni efekti kao npr. razna pucketanja, krckanja) i filtri kojima se uklanjaju kontinuirani šumovi i neželjeni tonovi (brum od napajanja, šum magnetofonske trake, šumovi kratkovalnog radioprijenosa, tonovi mobitela i sl.). Posebni filter može "izvući" govor koji se nalazi duboko ispod razine glasne muzike ili drugog jakog maskirajućeg signala. Multifilter je jedan od najjačih modula ovog softvera koji omogućuje na jednom mjestu slaganje različitih filtera u seriju, pri čemu se može u realnom vremenu ugađati parametre svakog filtera zasebno, i odmah čuti učinke promjena na samom tom filteru, kao i na ulančanom nizu filtera. Svi filtri imaju "predslušanje", koje ne mijenja izvorni zapis, već služi za ugađanje. Tek kada se postigne željeni rezultat djelovanja, filter/filtri se aktiviraju mijenjajući zapis koji se obrađuje.

Drugi blok alata služi za poboljšanje kvalitete korisnog audiosignala. Ovdje se koriste moduli koji djeluju na amplitudu signala – razni kompresori/ekspanderi, limiteri, ALC sklopovi, dekliperi. Harmonajzeri i ekvilajzeri unose više boje u "suhe" i mukle snimke bez viših tonova. U ovom softveru nalazimo i takve module koji se češće koriste u tonskim studijima i glazbenoj produkciji, kao npr. *reverb* i *echo* efekti.

DC Live/Forensics Audio Laboratory ima ugrađen i spektralni analizator, u standardnoj i proširenoj rezoluciji. To je veoma koristan alat, bez kojeg je nezamisliva bilo kakva ozbiljnija frekvencijska analiza zvuka.

Prozori nekih od najvažnijih modula i filtera opisane aplikacije prikazani su na slici 4¹⁰:



Slika 4: Prozori programa DC Live/Forensics Audio Laboratory

¹⁰ <http://www.forensicaudio.org/ForensicAudio.org/Samples.html> - 10. 5. 2010.

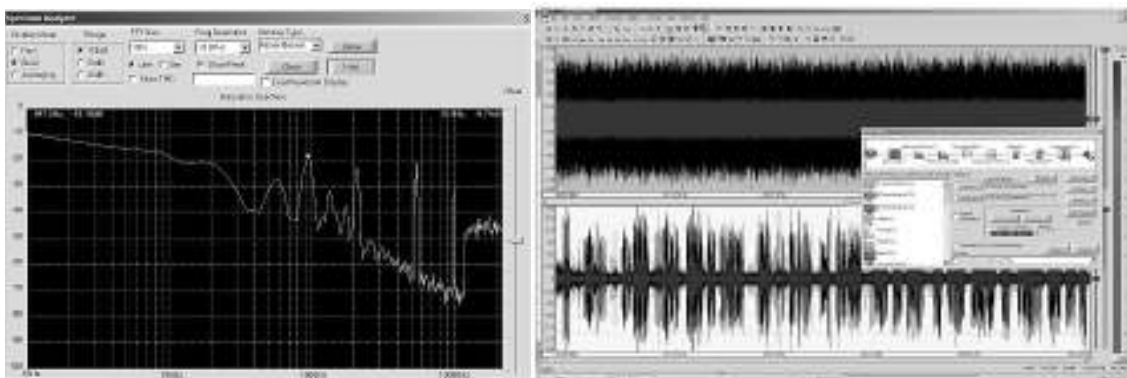
4. PRIKAZ PRAKTIČNE PRIMJENE FONENZIČNE OBRADJE ZVUKA

Nadalje, dajemo prikaz opisanog forenzičnog alata *DC Live/Forensics Audio Laboratory Version 7.5*, koji se uglavnom koristi u tzv. pozitivnoj manipulaciji zvukom. Naime, ovaj alat, kao što će biti vidljivo iz izloženih primjera, koristi se primarno za izdvajanje i poboljšanje predmetnog zvuka, te njegovo čišćenje od irelevantnih zvukova, šumova i brumova.

U priloženim grafikonima, prikazanim kroz sedam konkretnih audioisječaka (.wav fajlova) Primjer 1 do Primjer 7, može se vidjeti primjena tog alata u provedbi pojedinih forenzičnih postupaka¹¹. Jasno je kako tekst i slike ne mogu stvarno prikazati rezultate audioobrade jer to se postiže samo slušanjem isječaka neobrađenog i obrađenog audio-materijala. Stoga je ovaj rad samo osnovna informacija o onome što audioforenzični alati rade, a čitatelja se upućuje da poslušaj ove demofajlove na pripadajućim internetskim stranicama ili da sam isproba demoverziju programa *DC Live/Forensics Audio Laboratory*.

4.1. Primjer 1

Audiozapis je govor koji je maskiran jakim šumom, brumom i zujanjem. Na analizatoru spektra vide se četiri karakteristične frekvencije (4 pika) i kontinuirani šum iznad 12 kHz. Nakon korištenja multifiltera u kojem se nalazi optimalna, za ovu situaciju prilagođena kombinacija filtera, dobije se očišćen zapis s potpuno razumljivim govorom. Adekvatni prozori kod ove audioobrade prikazani su na slici 5. Lijevi prozor prikazuje spektralni sastav onečišćenog zvuka na spektralnom analizatoru koji je, kao poseban modul, dio programa *DC Live/Forensics Audio Laboratory*, i koji se u svakom trenutku može, kao zaseban prozor, pozvati iz programa. Desni prozor prikazuje osnovnu radnu površinu programa, koja se sastoji iz dva dijela. Gornji je dio namijenjen za prikaz ulaznog audiosignala – izvornog, onečišćenog zvuka koji se obrađuje, dok je donji dio radne površine namijenjen za rezultat obrade – očišćeni gornji signal.



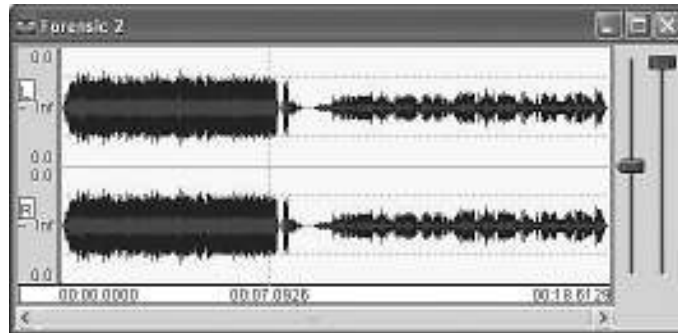
Slika 5: Čišćenje govornog signala od šumova, zujanja i brujanja

4.2. Primjer 2

I ovdje se govor jedva čuje ispod jakog zujanja i brujanja. Veoma jako zujanje i šum gotovo u potpunosti maskiraju relevantni signal govora. Na slici 6 vidi se rezultat obrade.

¹¹ Primjeri su preuzeti s interneta: <http://www.forensicaudio.org/ForensicAudio.org/Samples.html> - 10. 5. 2010.

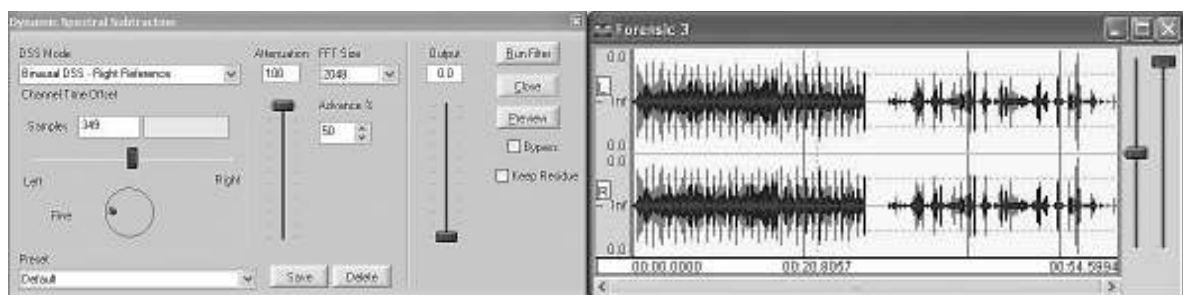
Lijeva polovina slike prikazuje izvorni, "prljavi" stereozapis (lijevi kanal gore, desni kanal dolje), a desna polovina slike je filtrima "očišćeni" zvuk s razgovijetnim govorom. Slika je uobičajeni prikaz tzv. A-B komparacije, gdje se na vremenskom slijedu od lijeva nadesno prikazuju dva audioisječka – audioisječak prije obrade i audioisječak nakon obrade. Time se postiže lako i brzo uočavanje rezultata i učinkovitosti audioobrada.



Slika 6: Čišćenje govornog signala od jakog zujanja i brujanja

4.3. Primjer 3

Veoma zahtjevan zadatak za audioforenzičara je kompleksno suzvučje iz kojega treba izvući glas praćene osobe, koju se npr. snima u nekom ugostiteljskom objektu gdje je glasna glazba i žamor. Ranije je takva situacija onemogućavala izoliranje relevantnog glasa, odnosno tako maskirani govor bilo je nemoguće izlučiti. Danas je primjenom *Dynamic spectral subtraction* (DSS) filtra, moguće očistiti i ovakav audiozapis. Glasnu glazbu iz ugostiteljskog objekta filtrira se DSS filtrom, a rezultat je da "izroni" govor – upute koje diktira otmičar. Ovim je filtrom glasna muzika gotovo potpuno potisnuta. Obradeni signal nije "Hi-Fi" kvalitete, što nije ni potrebno, jer je cilj analize razumljivost govora. U pozadini se mogu čuti određeni efekti, što je neizbježna nuspojava kod filtriranja. Lijevo na slici 7 prikazan je prozor DSS filterarskog modula, a desno, u A-B komparaciji, rezultat njegovog rada.



Slika 7: Djelovanje DSS filtra – uklanjanje jake muzike kao maskirajućeg signala

4.4. Primjer 4

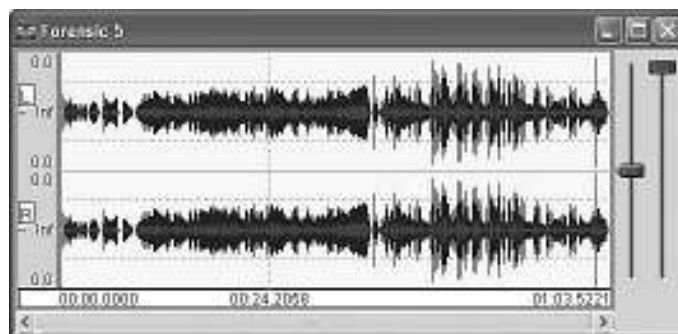
Slika 8 prikazuje višestruku A-B komparaciju izvornog signala i filtriranog signala u vremenskom slijedu, kod obrade signala govora, koji sadrži jaki nivo zujanja i bruma. U vremenskom slijedu prvo se čuje izvorni, neobrađeni audiozapis, a iza njega slijedi filtrirani signal i tako slijedom. Na taj način slušatelj uočava kako filtri potiskuju šum i brum, dok govor postaje jasniji i glasniji.



Slika 8: A-B komparacije za ocjenjivanje učinkovitosti audioobrade

4.5. Primjer 5

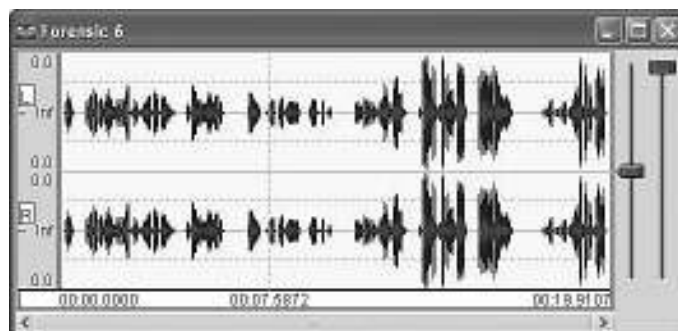
Slika 9 prikazuje A-B komparaciju, kao rezultat obrade audiosnimke govora osobe iz telefonske govornice u blizini autoputa, s osnovnim ciljem povećanja razumljivosti. Izvorni je govor tih, mutan, nerazgovijetan i maskiran bukom prometa na autoputu. Nakon filtriranja moguće je razumijevanje govora.



Slika 9: Filtriranje buke autoputa i povećanje jasnoće govora

4.6. Primjer 6

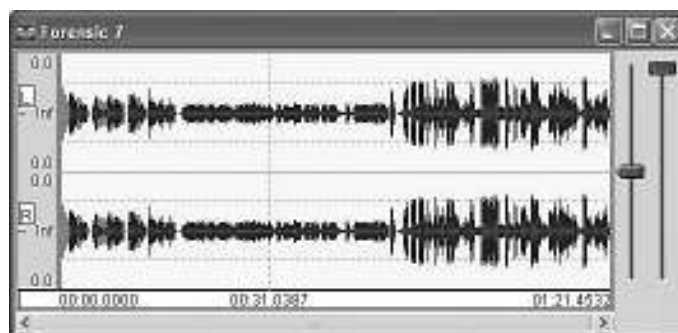
Slika 10 prikazuje A-B komparaciju u slučaju kad izvorni audiozapis sadrži segmente govora snimljenog s premalom razinom snimanja i prisutnim brumom u snimci. Filtriranjem se uklanja brum, a pojačanjem amplitude (Gain) dobije se bolji odnos signal-šum na snimci, odnosno bolja čujnost govora.



Slika 10: Povećanje glasnoće

4.7. Primjer 7

Na slici 11 prikazano je još jednom djelovanje DSS filtra. Ovim je filtrom uspješno uklonjen glasni zvuk iz televizora u sobi, a izlučen je glas prislušćivane osobe. I ovdje je djelovanje filtra prikazano A-B komparacijom (neobrađeno – obrađeno).



Slika 11: Djelovanje DSS filtra – uklanjanje glasnog zvuka televizora kao maskirajućeg signala

5. ZAKLJUČAK

Postoje stvarne potrebe ali i mogućnosti korištenja zvuka u kriminalističkom istraživanju, kako u području otkrivanja i istraživanja kaznenih djela, tako i u području utvrđivanja istovjetnosti njihovih počinitelja. Zvuk je stvarna pojava koja nas permanentno okružuje, a mnogi njegovi aspekti mogu se koristiti u istraživanju.

U ovom radu prikazani su neki forenzični alati i mogući forenzični postupci s tragovima zvuka, a kroz prikazane primjere, demonstriran je jedan od načina istraživanja zvuka – poboljšanje (pozitivna manipulacija) čujnosti i razumljivosti audiozapisa. Ovo bi trebalo biti najčešće područje rada audioforenzičara, bilo da se obavlja u kriminalističkom istraživanju ili u kaznenom postupku. Ostala područja analize zvuka samo su naznačena u 3. poglavlju.

Ključni problem u implementaciji ove/ovih metoda su materijalno-tehničke pretpostavke za kvalitetnu registraciju i pohranu zvuka, dok je informatička podrška za ovo područje forenzike prilično jednoznačna i dostupna. Zbog potrebe obrade velike količine informacija u realnom vremenu, potrebna su računala s brzim procesorima, velikom radnom memorijom i velikim kapacitetom tvrdih diskova. U računalu, već i standardna audiokartica zadovoljava raznolike potrebe obrade audiosignala. Jasno je da su poželjne što kvalitetnije audiokartice s istovremenom dvosmjernom komunikacijom ulaz – izlaz. Programski alati su vrlo dostupni. Jedan od najpoznatijih i izrazito dostupnih programskih alata je *DC Live/Forensics Audio Laboratory, Version 7.5*, prikazan u ovome radu. Drugi takav alat, *CEDAR Cambridge Forensics* najkompleksnija je profesionalna opcija, koja nudi zasebne softverske pakete za komercijalna PC računala kao i svoje vlastite hardversko softverske sustave. Za snimanja, danas se uglavnom koriste razne vrste digitalnih snimača (diktafoni) koji formiraju izlazni audioformat zapisa (.mp3 ili .wav) koji se direktno učitava u računalo radi daljnje obrade. Izuzetno je važna kvaliteta reprodukcije zvuka pa je potrebno koristiti kvalitetne zvučnike ili slušalice, kako bi se mogle uočiti i najmanje finese u audiosignalu. Uz to je potrebna i kvalitetna ostala standardna audioo-

prema poput pojačala, mikrofona, *playera* i slično. Navedena oprema predstavlja osnovu suvremenog audioforenzičnog laboratorija, koji bi mogao obrađivati audiomaterijale u digitalnom obliku (.wav, .mp3 i drugi digitalni audioformati). Također je potrebna oprema za analognu obradu signala poput magnetofona, kazetofona, gramofona i slično, jer se pripremljeni analogni audiouzorci zatim digitaliziraju i prilagođavaju za forenzične postupke u digitalnom okruženju.

Ovaj rad predstavlja pokušaj da se ukaže na postojanje neupitne potrebe korištenja zvuka u otkrivanju i razjašnjavanju kaznenih djela i identificiranju njihovih počinitelja. Prikazane su i neke od konkretnih mogućnosti i forenzičnih postupaka koji su već danas dostupni. Uz manje napore mogle bi se premostiti postojeće objektivne (materijalno-tehničke i kadrovske) i subjektivne (prije svega predrasude) prepreke i ovu vrstu tragova moglo bi se djelatno koristiti u kriminalističkom istraživanju.

LITERATURA

1. Becker, T., Jessen, M., Grigoras, C. (2008). *Forensic Speaker Verification Using Formant Features and Gaussian Mixture Models*. Brisbane: Proceedings of Interspeech.
2. Dickreiter, M. (1987). *Handbuch der Tonstudioteknik*. München: Saur Verlag.
3. Gfroerer, S. (2003). *Auditory-instrumental forensic speaker recognition*. U: EUROSPEECH (2003). Switzerland, Geneva.
4. Goupell, M., Laback, B., Majdak, P., Baumgartner, W. D. (2008). *Current-level discrimination and spectral profile analysis in multi-channel electrical stimulation*. The Journal of the Acoustical Society of America, 124(5), 3142.-3157.
5. Grigoras, C. (2007). *Application of ENF Criterion in Forensic Audio, Video, Computer and Telecommunication analysis*. Forensic Science International, 167(2-3), 136.-145.
6. Grigoras, C. (2007). *Applications of ENF Methodology in Forensic Audio Authentication, AES SC-03-122 Working group on Forensic Audio*. Workshop – The Practice of Audio Forensic. Austria, Vienna.
7. Heđever, M. (2009). *Uvod u forenzičnu fonetiku i akustiku*. Skripta iz kolegija Forenzična fonetika i akustika na Edukacijsko-rehabilitacijskom fakultetu u Zagrebu.
8. Jelaković, T. (1978). *Zvuk, sluh, arhitektonska akustika*. Zagreb: Školska knjiga.
9. Pavišić, B., Modly, D., Veić, P. (2006). *Kriminalistika 1*. Zagreb: Golden marketing – Tehnička knjiga.
10. *Tehnička enciklopedija*. (1973). IV. svezak. Zagreb: Hrvatski leksikografski zavod.
11. Žauhar, G., Lekić, A., Roller-Lutz, Z. (2008). *Analiza zvučnog signala nekad i danas*. Osmi hrvatski simpozij o nastavi fizike: Nastava fizike za prirodno-znanstvenu pismenost. Zagreb: Zbornik Hrvatskog fizikalnog društva.
12. <http://www.forensicaudio.org/ForensicAudio.org/Samples.html> - 10. 5. 2010.
13. <http://cslu.cse.ogi.edu/tutordemos/SpectrogramReading/ipa/formants.html> - 10. 5. 2010.
14. <http://element.hr/artikli/file/1252> - 10. 5. 2010.
15. http://www.wam.hr/arhiva/Broj_1/VUKADIN.html - 10. 5. 2010.

Summary

Želimir Radmilović, Zlatko Kovač

On Some Aspects of Using Sound in Forensic Investigation

The aim of this paper is to emphasize the necessity to improve the use of those investigative methods and tools which are most adequate for specific type of evidence connected with certain types of criminal activities. In other words, criminal investigations often prove fruitless due to the fact that the applied methods and techniques of collection, preservation, analysis and/or assessment of evidence (traces) fail to produce the type of evidence considered typical for certain crimes. It has become obvious that alongside with footprints and scent evidence, in the Republic of Croatia there is another uncovered area, i.e. audio forensics. The sound is not only an immanent part of our everyday life – it can play an important part in committing crime. In many cases sound analysis covers different aspects of crime investigation. The paper discusses the major issues of audio forensics as well as the application of commercially available computer programs and tools used for audio forensic purposes.

Key words: sound, acoustics, audio forensics, crime investigation, Fourier analysis.