

РАЗПОЗНАВАНЕ НА ИЗСТРЕЛ ОТ ОГНЕСТРЕЛНО ОРЪЖИЕ ЧРЕЗ ИЗПОЛЗВАНЕТО НА СПЕКТРАЛЕН АНАЛИЗ

Иван Гарванов, Пенка Пергелова

Университет по библиотекознание и информационни технологии

Резюме: В настоящата статия е изследван метод за разпознаване на звук от огнестрелно оръжие чрез прилагането на спектрален анализ. Идентифицирането на вида оръжие на базата на звука от изстрел намира приложение в областта на военното дело, при реални бойни действия, подпомага балистичните експертизи при наличието на аудиозаписи от изстрели и др. В статията са изследвани звукови сигнали, генерирани от няколко вида огнестрелно оръжие. Изследваният метод за разпознаване може да се приложи и при решаване на много други задачи, свързани с идентифициране на различни източници на звукови сигнали, генерирани от хора, птици, предмети, природни явления и др.

Ключови думи: разпознаване на изстрел, преобразуване на Фурие, спектрален анализ.

Въведение

Разпознаването на източника на звукови сигнали е актуална научна задача с широко приложение в практиката. Акустичните сигнали, генерирани на бойното поле, са смесица от разнородни звуци, съдържащи и изстрели от различни по вид огнестрелни оръжия. Възможните задачи пред изследователите на звукови сигнали от огнестрелно оръжие са разнообразни и може да се класифицират по следния начин: определяне на посоката на пристигане на звука; разпознаване на вида на оръжието, генериращо звуковия сигнал; определяне на разстоянието до оръжието; преброяване на изстрелите и др. Акустичните сигнали, генерирани от огнестрелно оръжие, се състоят от следните компоненти: дулен взрив, продължаващ около 3 милисекунди и причинен от експлозията на заряда, който задвижва куршума; звуците, свързани с механични действия върху оръжието, като спуська и ударния механизъм или изхвърлянето на използвани патрони; в някои случаи ударна вълна от свръхзвукови снаряди; звуци, свързани с външни източници и смущения [1].

Проблемът с откриването на изстрели в аудиозаписи от филми е изследван в [2] с помощта на динамично програмиране. В статия [3] се оценяват няколко алгоритъма за откриване на изстрели от огнестрелни оръжия, като се прави уточнението, че сигналът от изстрел е подобен на импулсен сигнал и неговите спектрални характеристики могат да предоставят информация и за акустичната среда.

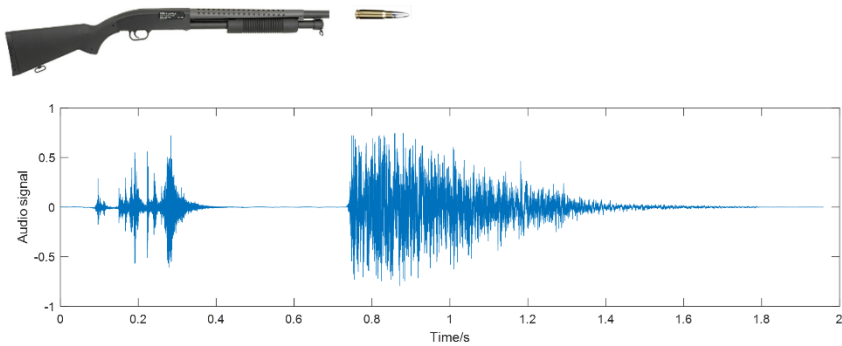
На базата на хипотезата от [3], в настоящата статия се разглежда въпросът за разпознаване на вида оръжие чрез спектрален анализ, като се анализира звуковият сигнал, генериран от огнестрелно оръжие. Предлаганият метод може да се използва за работа в реално време при военни и правоприлагащи мисии. Подобен алгоритъм е предложен в [4], но при условие на външни шумове и смущения. В [5] се разглежда задачата за разпознаване на оръжие с помощта на невронна мрежа с многомащабно изместване на спектъра.

За разпознаването на различните видове сигнали може да се използва корелационен анализ, който показва добри резултати в [3].

В настоящата статия са анализирани съставните части на звуковите сигнали, генерирани от огнестрелно оръжие; разгледани са основните принципи на преобразуването на Фурие, както и спектралният анализ като основно средство за анализ на звуковия сигнал. Накрая са представени резултатите от обработката на четири звукови сигнала и са показани техните спектрални характеристики. Резултатите са анализирани и са посочени задачите за бъдещи разработки.

Звуци, генерирани от огнестрелно оръжие

Звучите, генерирани по време на работа с оръжие, са няколко вида и са свързани основно със зареждането на оръжието и произвеждането на изстрела. Звуковите сигнали от механичното зареждане на оръжието, махането или слагането на предпазителя са със сравнително малка амплитуда. Звуковите сигнали, получени от ударната вълна, която се образува, когато куршумът се изстрелва от цевта с високо налягане, висока скорост и висока температура, получени от експлозията на барута в куршума по време на изстрела, се характеризират с висока амплитуда. Част от сигнала, генериран от летящия патрон, се получава от ударната вълна, следваща траекторията на патрона. На фиг. 1 са показани звуковите сигнали, генерирани при зареждане на пушка и произвеждане на изстрел.



Фиг. 1. Схематична диаграма на звуков сигнал при произвеждане на изстрел

Методология на изследването

Звуковите сигнали, генерирани от огнестрелно оръжие, се анализират чрез спектрален анализ, който позволява да се разпознае както калибърът на оръжието, така и видът на самото оръжие. Изследването е проведено във времевата и честотната област на сигнала. За получаването на спектъра на сигнала се използва преобразуването на Фурие, което е мощен инструмент за обработка на сигнали.

Преобразуване на Фурие

От теорията на Фурие е известно, че всяка функция (всеки сигнал) може да се представи чрез краен или безкраен брой хармонични функции, всяка с определена амплитуда, честота и фаза, т.е. съществува еднозначна връзка между времевата и честотната форма на сигнала. Това означава, че спектърът на сигнала в честотната област на сигнала е съвкупност от множество хармонични сигнали (спектрални съставляващи, спектрални компоненти), които, комбинирани подходящо по амплитуда и фаза, „възпроизвеждат“ сигнала във времевата област. Ако сигналът е периодичен с период на повторение T , отделните хармонични съставляващи са еквивалентни на разстояние $\frac{1}{T}$ една от друга. Оттук може да се направи изводът, че ако сигналът е неперодичен, то T клони към безкрайност и разстоянието между съставляващите става безкрайно малко и клони към нула. От енергетична гледна точка спектърът на сигнала показва колко енергия се съдържа във всяка честотна компонента на сигнала. Спектърът на сигнала може да се получи посредством

преобразуване на Фурие (Fourier transform) [6], [7]. Спектралният анализ понякога се нарича и спектрална плътност.

Правото преобразуване на Фурие, трансформира сигнала от времевата област в честотната област на сигнала посредством израза

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt. \quad (1)$$

Възстановяването на сигнала във времевата област на сигнала се извършва посредством обратно преобразуване на Фурие, като се следва зависимостта

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega)e^{j\omega t} d\omega. \quad (2)$$

За да бъде приложимо преобразуването на Фурие, трябва да са изпълнени условията на Дирихле и сигналът да е абсолютно интегрируем. Това означава, че интегралът на неговия модул трябва да е краен, или:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)| dt < \infty. \quad (3)$$

Модулът на спектралната функция се нарича амплитуден спектър, а неговият аргумент – фазов спектър.

Преобразуването на Фурие поставя зададения времеви сигнал в пълно съответствие с неговата спектрална функция. Преобразуването на Фурие запазва цялата информация на сигнала, така че представянето на сигнала в честотната област (спектрална функция) съдържа точно същото количество информация като оригиналния сигнал, намиращ се във времевата област.

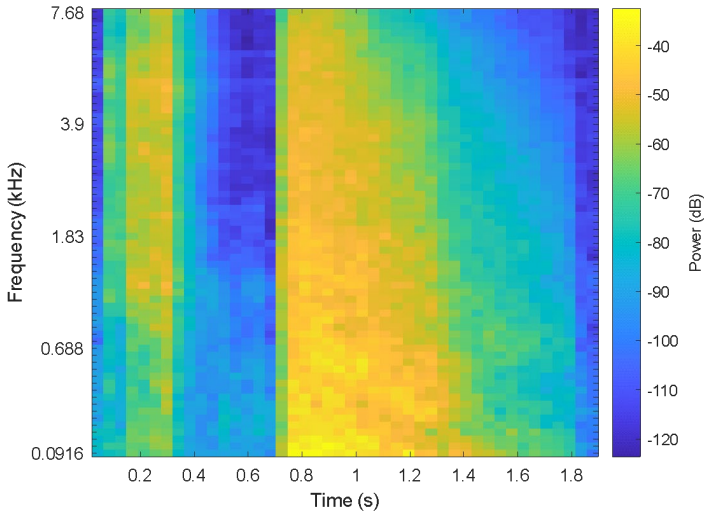
Спектрограма на сигнала

Спектрограмата на сигнала е съвкупност от моментните спектри на даден сигнал във функция на времето:

$$F(\omega, t) = \int_{t-T}^t X(t)e^{-j\omega t} dt. \quad (4)$$

Получаването на спектрограмата е възможно посредством разделяне на времевия сигнал на сегменти и прилагане на преобразуването на Фурие за всеки времеви сегмент [8]. Наборът от спектри образува спектрограмата на сигнала. Ако сегментите на анализирания сигнал не се припокриват, разделителната способност по честота се определя от зависимости $\Delta f = \frac{1}{T_1}$, а разделителната способност по време – от стойността на T_1 . Ако обработваните сегменти се припокриват, разделителната способност по време е равна на $\Delta t = \frac{T_1}{N_1}$, където N_1 е броят на извадките от сегмента, подложен на преобразуването на Фурие (следователно числото N_1 се нарича размер на преобразуването на Фурие и е кратно на степен две). Ако степента на припокриване е

много висока, количеството на изчисленията може да стане неприемливо високо. Поради голямата продължителност на звуковия сигнал, генериран при стрелба с оръжие, както и различните честотни характеристики на сигнала във времето, е за предпочитане да се анализира спектралната диаграма на изследвания звуков сигнал. Спектралната диаграма на звуковия сигнал от фиг. 1 може да се види на фиг. 2.

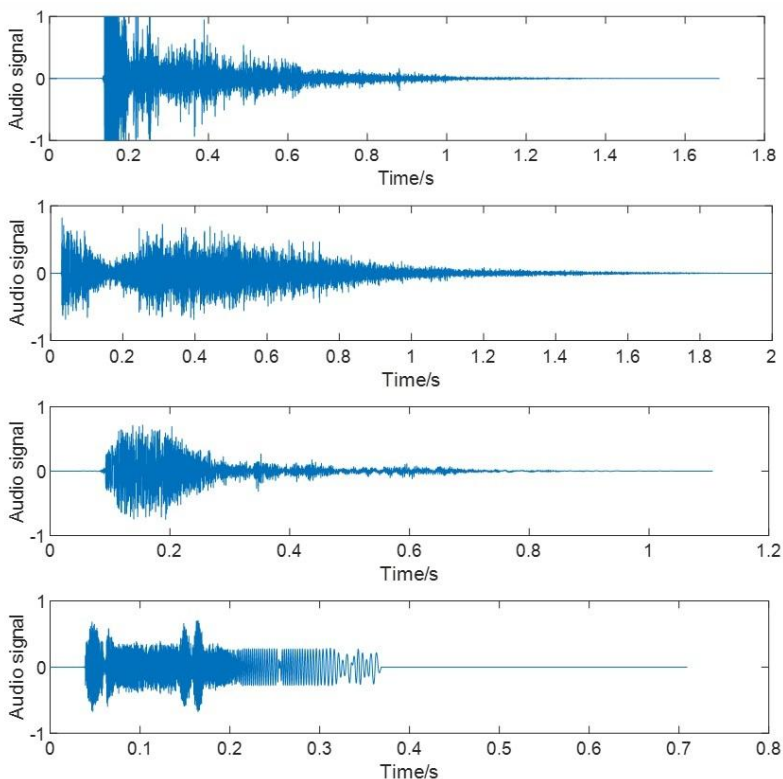


Фиг. 2. Спектрална диаграма на звуков сигнал при произвеждане на изстрел

На фигурата ясно се различават звуците от зареждането и стрелбата с огнестрелното оръжие. Вижда се, че във функция на времето акустичният сигнал се състои от звуци с различна честота, като преобладаващи са тези в нискочестотния диапазон.

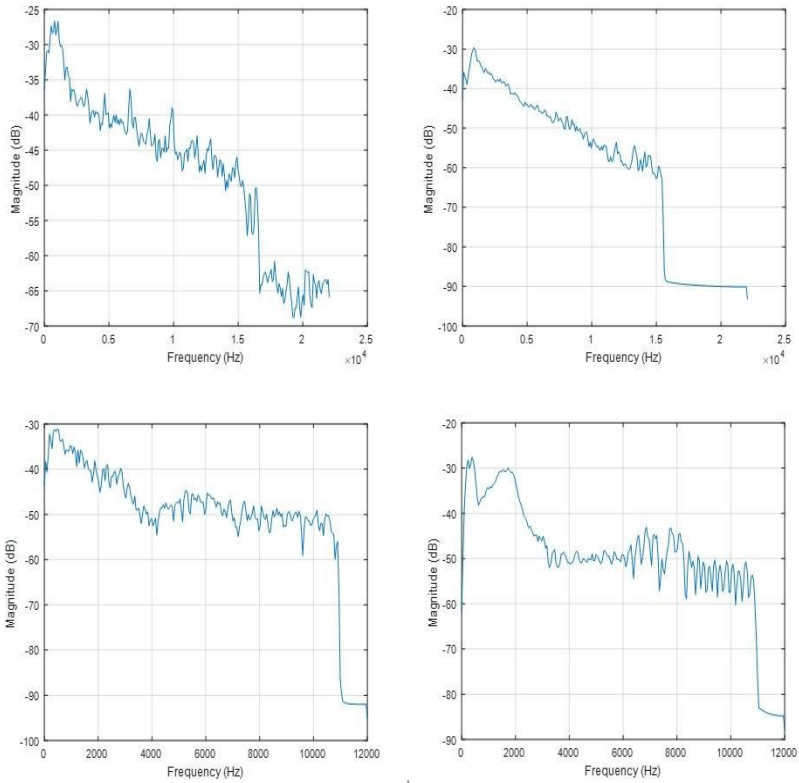
Резултати

Разпознаването на вида на оръжието по генерирания от него звук е възможно да стане посредством спектрален анализ на звуковите сигнали. В настоящата статия са изследвани звуци, генерирани от четири вида оръжие (пистолет 9 мм, снайпер, пушка и лазерна пушка). Видът на сигналите във функция на времето е показан на фиг. 3, като от нея се вижда, че всяко от оръжията има специфична амплитудно-времева характеристика. Всеки звук притежава специфични времеви и честотни характеристики, по които може да бъде разпознат.



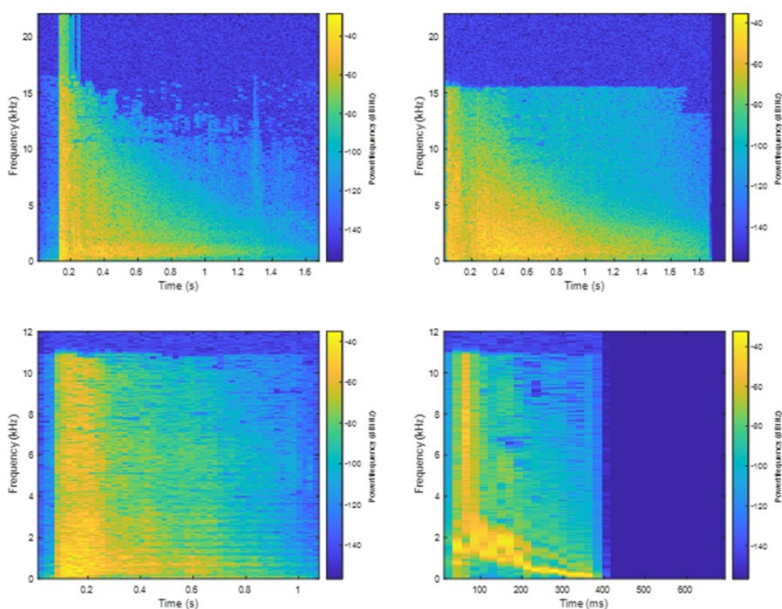
Фиг. 3. Визуализация на звуци, получени от пистолет 9 мм, снайпер, пушка и лазерна пушка

Спектрите на сигналите, получени след прилагане на бързо преобразуване на Фурие към звуците от фиг. 3 за четирите вида огнестрелни оръжия са показани на фиг. 4. Тези спектри включват информация за честотите на сигналите за целия времеви диапазон на звука, но построяването на време-честотна диаграма (спектрограма) би дало по-детайлна представа за спектъра на сигнала във функция на времето.



Фиг. 4. Спектри на звукови сигнали, получени от пистолет 9 мм, снайпер, пушка и лазерна пушка

Спектрограмите на изследваните четири оръжия са показани на фиг. 5.



Фиг. 5. Спектрални диаграми на звукови сигнали, получени от пистолет 9 мм, снайпер, пушка и лазерна пушка

Заклучение

Звучите от различните оръжия имат специфични характеристики, които може да се използват за разпознаването им. Продължителността на звука е различна за всеки изстрел, обвиващата на сигнала има специфични форми и вид, честотните характеристики са уникални за всяко оръжие. От спектрите на звуковите сигнали, генерирани от четирите вида оръжия, се вижда, че звукът на всяко оръжие притежава различни амплитудно-честотни съставляващи във функция на времето. Получените резултати са в основата на метода за разпознаване на видовете оръжия, като в следващи разработки ще бъде приложен корелационен анализ [9] за оценка на разпознаемостта.

Благодарности: Тази статия е реализирана по Национална научна програма „Сигурност и отбрана“, финансирана от Министерството на образованието и науката в изпълнение на Националната стратегия за развитие на научните изследвания 2017 – 2030 и приета с Решение на Министерския съвет № 731 от 21 октомври 2021 г. Този материал отразява единствено мнението на авторите и МОН не носи отговорност за съдържанието.

References/Литература

1. **Maher**, R. Modeling and signal processing of acoustic gunshot recordings. 2006 IEEE 12th Digital Signal Processing Workshop & 4th IEEE Signal Processing Education Workshop. Teton National Park, WY, USA, 2006, pp. 257 – 261, doi: 10.1109/DSPWS.2006.265386.
2. **Pikrakis**, A., T. **Giannakopoulos**, S. **Theodoridis**. Gunshot detection in audio streams from movies by means of dynamic programming and Bayesian networks. 2008 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Las Vegas, NV, USA, 2008, pp. 21 – 24, doi: 10.1109/ICASSP.2008.4517536.
3. **Chacon-Rodriguez**, A., P. **Julian**, L. **Castro**, P. **Alvarado**, N. **Hernande**. Evaluation of Gunshot Detection Algorithms. – In: *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 58, no. 2, pp. 363 – 373, Feb. 2011, doi: 10.1109/TCSI.2010.2072052.
4. **Thanhikam**, W. Gunshot noise detection using zero phase technique. 2015 Asian Conference on Defence Technology (ACDT), Hua Hin, Thailand, 2015, pp. 183 – 186, doi: 10.1109/ACDT.2015.7111608.
5. **Li**, J., J. **Guo**, M. **Ma**, Y. **Zeng**, C. **Li**, J. **Xu**. A Gunshot Recognition Method Based on Multi-Scale Spectrum Shift Module. – In: *Electronics*, 2022, 11, 3859. <https://doi.org/10.3390/electronics11233859>
6. **Garvanov**, I. *Metodi i algoritmi i otkrivane na tseli*. Sofia: Avangard Prima, 2014, 276 s. ISBN 978-619-160-317-6.
 [Гарванов, И. Методи и алгоритми и откриване на цели. София: Авангард Прима, 2014, 276 с. ISBN 978-619-160-317-6.]
7. **Garvanov**, I. *Radar s pryako razseyvane: printsipi i prilozhenia*. Sofia: Za bukвите – O pismeneh, 2012, 117 s. ISBN 978-954-2946-45-8.
 [Гарванов, И. Радар с пряко разсейване: принципи и приложения. София: За буквите – О писменех, 2012, 117 с. ISBN 978-954-2946-45-8.]
8. **Garvanova**, M. *Efekti ot prekomerna upotreba na smart tehnologii varhu choveka. Obrabotka na dannii ot empirichni i eksperimentalni izsledvania*. Monografia. Sofia: Za bukвите – O pismeneh, 2022, 260 s. ISBN 978-619-185-555-1, eISBN 978-619-185-554-4.
 [Гарванова, М. Ефекти от прекомерна употреба на смарт технологии върху човека. Обработка на данни от емпирични и експериментални изследвания. Монография. София: За буквите – О писменехъ, 2022, 260 с. ISBN 978-619-185-555-1, eISBN 978-619-185-554-4.]
9. **Garvanova**, M., S. **Slavova**. *Matematicheska statistika i obrabotka na dannii sas SPSS*. Sofia: Za bukвите – O pismeneh, 2015, 234 s. ISBN 978-619-185-183-6.
 [Гарванова, М., С. Славова. Математическа статистика и обработка на данни със SPSS. София: За буквите – О писменехъ, 2015, 234 с. ISBN 978-619-185-183-6.]

За авторите

Иван Гарванов е професор в катедра „Информационни системи и технологии“, УниБИТ. Неговите научноизследователски интереси са в областта на цифровите технологии, обработката на комуникационни, радарни и навигационни сигнали, информационните технологии.

За контакт с автора: i.garvanov@unibit.bg

Пенка Пергелова е докторант в катедра „Информационни системи и технологии“, докторска програма ИСТИКН, УниБИТ. Нейните научноизследователски интереси са в областта на разпространението на звуковите вълни и влиянието им върху човека.

За контакт с автора: p.pergelova@unibit.bg

GUNSHOT RECOGNITION USING SPECTRAL ANALYSIS

Ivan Garvanov, Penka Pergelova

University of Library Studies and Information Technologies

Abstract: In this paper, a method for recognizing the sound of a firearm, applying spectral analysis, is researched. The identification of the type of weapon based on the sound of a shot is used in the field of military affairs, during actual combat operations, supports ballistics examinations in the presence of audio recordings of shots, etc. The article examines sound signals produced by several types of firearms. The researched recognition method can also be applied in solving many other tasks related to the identification of different sources of sound signals generated by people, birds, objects, natural phenomena, etc.

Keywords: shot recognition, Fourier transform, spectral analysis.

About the Authors

Ivan Garvanov is a professor in the Department of Information Systems and Technologies, at ULSIT. His research interests are in the field of digital technologies, communication, radar and navigation signal processing, information technology.

To contact the Author: i.garvanov@unibit.bg

Penka Pergelova is a doctoral student in the department of Information Systems and Technologies, PhD program ISTICN at ULSIT. Her research interests are in the field of propagation of sound waves, their influence on humans.

To contact the Author: p.pergelova@unibit.bg