



ISSN 1728-7901

Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық
университеті

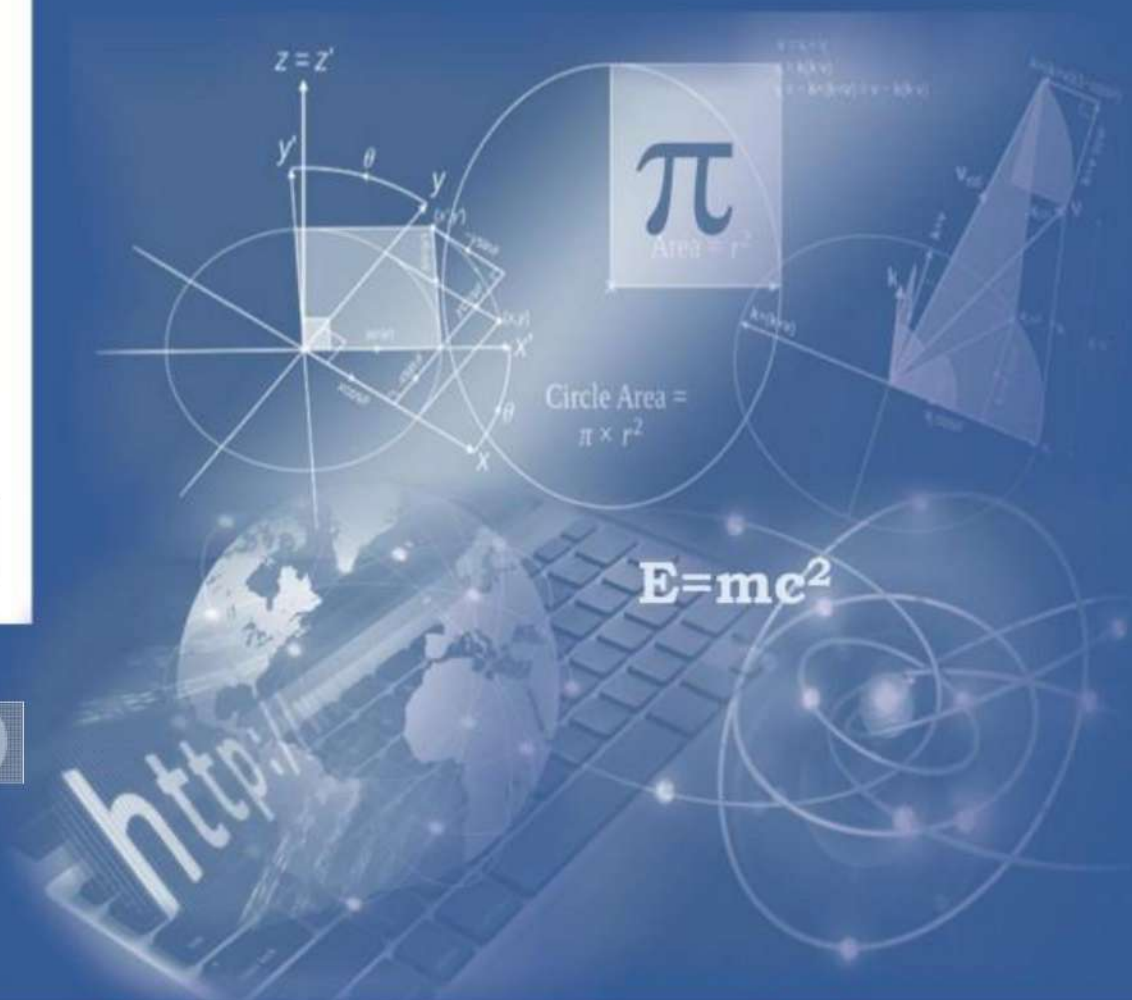
Казахский национальный педагогический
университет имени Абая

ХАБАРШЫ ВЕСТНИК BULLETIN

«Физика-математика ғылымдары» сериясы
серия «Физико-математические науки»

№ 4 (68)

2019



Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті
Казахский национальный педагогический университет имени Абая
Abai Kazakh National Pedagogical University

ХАБАРШЫ

«Физика-математика ғылымдары» сериясы
Серия «Физико-математические науки»
Series of Physics & Mathematical Sciences
№4(68)

ABAI UNIVERSITY

BULLETIN

Ser. Physics & Mathematical Sciences

№ 2 (66)

Editor-in-Chief

Dr. Sci. Bektemesov M.A.

Deputy Editor-in-Chief:

Dr. Sci. Ualiyev G.,

Dr. Sci. (Ped.), Bidaibekov Ye.Y.,

Dr. Sci., Corresponding member

of the NAS of RK Kosov V.N.,

Cand.Sci. Bekpatshayev M.Zh.

Responsible editorial secretary:

Cand. Sci. (Ped.) Shekerbekova Sh.

Cand. Sci. (Ped.) Abdulkarimova G.A.

Editorial board:

Dr.Sci. Alimhan K. (Japan),

Phd.d. Cabada A. (Spain),

Phd.d Kovatcheva E. (Bulgaria),

Phd.d. Ruzhansky M. (England),

Dr. Sci. (Ped.), Corresponding member of the

NAS of RK Abylkasymova A.Ye.,

Dr.Sci.(Engineering) Amirgaliyev Ye.,

Dr. Sci. Berdyshev A.S.

Dr.Sci. Grigoriev S.G. (Russia),

Dr.Sci. Grinshkun V.V. (Russia),

Dr. Sci. Mukhambetzhano S.T.,

Dr.Sc. Kabanikhin S.I. (Russia),

Dr. Sci., Academician of the NAS of RK

Kalimoldayev M.N.,

Dr. Sci.Kozhamkulov B.A.,

Dr. Sci. Komarov F.F.,

(Republic of Belarus),

Dr.Sci.(Engineering) Kulbek M.K.,

Dr. Sci. (Ped.) Lapchik MP (Russia),

Dr. Sci.Lisicin V.M. (Russia),

Dr. Sci. (Ped.) Mambetkunov E.M.

(Kyrgyz Republic),

Dr. Sci. (Ped.) Pak N.I. (Russia),

Dr.Sc. Sakhiyev S.K.,

Dr. Sci. (Ped.) Sedova Ye.A. (Russia),

Dr. Sci. (Ped.) Sydykov B.D.,

Dr.Sci.(Engineering) Tuleshov A.K.,

Dr.Sci. Ualiyev Z.G.,

Cand.Sci. Khamraev Sh.I.

© Abai University, 2019

Registered in the Ministry of Information of the

Republic of Kazakhstan,

№ 4824 - Ж - 15.03.2004

(Periodicity: 4 issues per year)

Published since 2000

Signed to print 09.12.2019 г.

Format 60x84 1/8. Vol. 33,6 p.

Printing 300 copies. Order 252.

Publishing and Editorial:

050010, 13 Dostyk av.,

Almaty, Kazakhstan

Publisher "Ulagat"

Abai University

Жансай А.Ж., Дарибаев Б.С. Шазам алгоритмін қолдану арқылы дыбысты тануды жүзеге асыру	219
Makhpirov A.M., Rakhimzhanova L.B., Baimuldina N.S. Training of construction of autonomous radio signal relays	224
Нурбекова Ж.К., Толғанбайұлы Т. Организация проектно-ориентированного обучения программированию микроботов	228
Нурбекова Ж.К., Толғанбайұлы Т. Педагогический эксперимент по реализации проектно-ориентированного обучения студентов программированию микроботов	233
Ошанова Н.Т., Ануарбекова Г.Ж. Алгоритмдеу мен программалауды оқытуда ұлттық ерекшеліктер негізіндегі есептер жүйесіне қойылатын талаптар	238
Сағымбаева А.Е., Авдарсоль С. Критериялды тәсіл негізінде информатикадан оқушылардың функционалдық сауаттылығын бағалау	244
Сағымбаева А.Е., Ниятбаева Н.А. Мектепте программалау негіздерін қосымша оқытудың қажеттілігі	250
Сарбасова А.К. Интернет экономикасының қызметінің негізгі принциптері туралы	254
Серік М., Баумуратова Д.Б. Бұлттық технологияларды техникалық және кәсіптік білім беру жүйесінде оқыту	258
Сәлғожа И.Т., Тойшыбек Т.Т. Информатиканы оқытуда оқушылардың ақпараттық құзырлығын қалыптастыру	265

МРНТИ 00.21
УДК 004.9

А.Ж.Жансай¹, Б.С.Дарибаев¹

¹ ал-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

ШАЗАМ АЛГОРИТМІН ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ДЫБЫСТЫ ТАЛУДЫ ЖҮЗЕГЕ АСЫРУ

Аңдатпа

Мақалада дыбысты немесе аудио файлдарды тануға арналған алгоритмнің негізгі орындалатын қадамдары қарастырылған. Қазіргі таңда кең таралған алгоритмнің бірі – Шазам болып табылады. Шазам алғашқы рет 2000 жылы Эвери Ли Чунь Вонгтың (Vera Li-Chung Wang) бастауымен пайда болған. Аталмыш алгоритм негізінде дыбысты тану барысындағы сандық сигналдар, дискретизациялау (аналогты сигналды сандық түрге ауыстыру), Фурье дискретті түрлендіруі, Кули-Тьюки алгоритмі сынды ұғымдарға қысқаша түсініктеме берілген. Қажетті кітапханалар тізімі арқылы олардың қалай жүзеге асырылатындығын көрсету мақсатында Java бағдарламалау тілі қолданылып, ал алынған нәтижелердің жалпы көрінісі координаталар жүйесінде берілді. Сонымен қатар бірнеше әуен таңдалынып алынып, олар арқылы алгоритм жұмысы тексерілді және алынған нәтижелерді мақала соңынан көруге болады.

Түйін сөздер: ФДТ, дыбыс, сигнал, Shazam, дискретизациялау, кітапхана, Java.

Аннотация

А.Ж. Жансай¹, Б.С. Дарибаев¹

¹ Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ЗВУКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА ШАЗАМ

В статье предусмотрены основные выполняемые шаги алгоритма для распознавания звуковых или аудиофайлов. В настоящее время одним из наиболее распространенных алгоритмов является Шазам. Шазам впервые появился в 2000 году под руководством Эвери Ли Чунь Вонга (Vera Li-Chung Wang). На основе данного алгоритма дано краткое описание таких понятий, как цифровые сигналы при распознавании звука, дискретизация (замена аналогового сигнала в цифровой вид), дискретное преобразование Фурье, алгоритм Кули-Тьюки. С целью демонстрации того, как они реализуются через список необходимых библиотек, был использован язык программирования Java, а общий вид полученных результатов был представлен в системе координат. Также были выбраны несколько мелодий, с помощью которых проверена работа алгоритма и полученные результаты можно посмотреть в конце статьи.

Ключевые слова: ДПФ, звук, сигнал, Shazam, дискретизация, библиотека, Java.

Abstract

THE IMPLEMENTATION OF SOUND RECOGNITION USING THE ALGORITHM OF SHAZAM

Zhansay A.Z.¹, Daribayev B.C.¹

¹ Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

The article provides the main steps of the algorithm for recognizing audio or audio files. Currently, one of the most common algorithms is Shazam. Shazam first appeared in 2000 under the direction of Avery Li Chun Wong (Vera Li-Chung Wang). Based on this algorithm, a brief description of such concepts as digital signals for sound recognition, sampling (replacing an analog signal with a digital form), discrete Fourier transform, and the Cooley-Tukey algorithm is given. In order to demonstrate how they are implemented through the list of required libraries, the Java programming language was used, and the General view of the results was presented in the coordinate system. Also, several melodies were selected, using which the algorithm was checked and the results can be viewed at the end of the article.

Keywords: DFT, sound, signal, Shazam, sampling, library, Java.

Қазіргі таңда, техниканың қарқынды дамыған заманында, адам өміріне қажетті көптеген технологиялар мен құрылғылар пайда болуда. Бұрын тек армандауға ғана болатын дүниелер бүгінде қол жетімді. Мобильді технологиялар мен дыбысты өңдеу саласындағы мұндай қарқынды прогресс алгоритм құраушылардың дыбысты немесе музыкалық туындыларды тануға арналған қосымшалар жасап шығуына мүмкіндік беруде. Осы реттегі ең танымал шешімдердің бірі Шазам деп аталады. Шазам алғашқы рет 2000 жылы Эвери Ли Чунь Вонгтың (Vera Li-Chung Wang) бастауымен пайда болған. Аталмыш жобаның адамдар арасында тез таныла бастауының себебі, осы бағыттағы жаңа серпін мен идеяның жаңашылдығы. Әрі қосымшаға кез келген әуенді тану үшін бар болғаны 3-5 секунд жеткілікті.

Бұл қосымшадағы дыбысты тануға арналған алгоритмнің жалпы сипаттамасын Шазам жобасының авторлары 2003 жылы мақала ретінде жариялады [1]. Ол жерде орындалатын операциялардың базалық

принциптері толығымен айтылған. Ал Рой Ван Рейн атты бағдарламашы 2010 жылы “Шазам алгоритмін құру” атты мақаласында ол жайлы біраз ақпарат берді [2].

Зерттеу жұмысының басты мақсаты - аталмыш деректерге сүйене отырып, қазақ күйлерін тануға арналған мобильді қосымша жасап шығу. Бүгінде көбі біле бермейтін күйшілер мен олардың туындылары жетерлік, бірақ көбі халық санасынан өшіп бара жатыр. Төл өнерімізді танытуда және оны дәріптеуде жаңа технологияларды қолдану осы бағытқа жаңа серпін берері анық.

Мобильді қосымшаны жасап шығу барысында мынадай негізгі қадамдар орындалды: алдымен тандалынып алынған күйлер дискретизациялау процесінен өтті, яғни аналогты сигналдарды сандық сигналдарға айналдыру. Келесі қадамда, сигналдардың уақыт бойынша жиіліктік сипаттамалары алынды, ол үшін Фурье дискретті түрлендіруі қолданылды. Алынған мәліметтерге сәйкес әр күйдің жеке сигнатуралық хэштары алынды. Деректер қорына хэштар мезеттік уақыттарымен бірге жазылып отырды. Қажетті күйді табу үшін тыңдалынған күй бөлігін осы процестерден өткізіп, деректер қорынан сәйкес хэштары бойынша іздеу жүргізіледі.

Бұл мақалада дыбысты немесе музыкалық туындыларды тануға арналған алгоритмнің негізгі орындалатын қадамдары мен жұмыс жасау принциптері түсіндірілді.

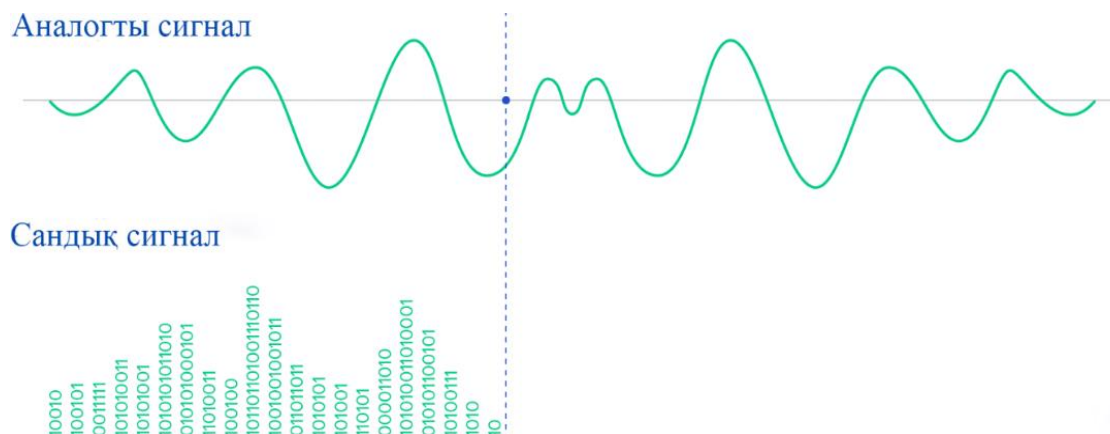
Дыбысты тану қадамдары

Дискретизациялау

Дыбыс бұл – адамдар мен жануарлардың арнаулы сезу органымен субъективті түрде қабылданатын құбылыс. Ал теориялық анықтамасы: газ, сұйықтық немесе қатты күйдегі серпімді орта бөлшектерінің толқын түрінде таралатын тербелмелі қозғалысы.

Дыбыс жазу құрылғылары дыбыс толқынының қысымын электр сигналына айырбастай отырып, жоғарыда сипатталған процесті нақты имитациялайды [3]. Ауадағы дыбыс толқыны - бұл қысу және сирету аймақтарымен ұсынылған үздіксіз сигнал. Дыбыс сигналы бар бірінші электрондық компонент, микрофон, оны электр сигналына түрлендіреді, алайда әлі де үздіксіз күйде болады. Цифрлық әлемде мұндай сигналдар аса пайдалы емес, сондықтан сандық жүйелерде сақтау және өңдеу алдында оларды дискретті нысанға айналдыру қажет. Бұл сигнал амплитудасын білдіретін мәндерді таңдау арқылы жасалады.

Дыбысты өңдеу үшін алдымен келіп түскен аналогты сигналды сандық түрге айналдыру қажет. Бұл процесс дискретизациялау деп аталады. 1- суретте аналогтық және сандық сигналдардың графикалық сипаттамалары бейнеленген [4].



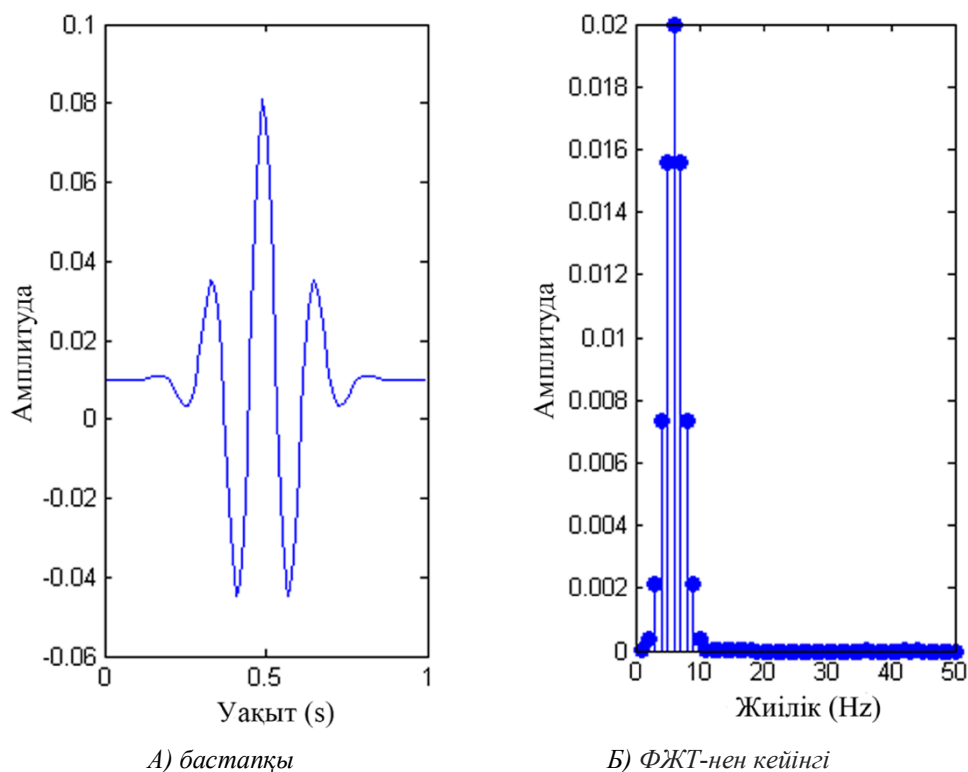
Сурет 1. Сандық және аналогты сигналдар бейнелері

Атап айтқанда, адам 20 Гц-дан 20000 Гц-ға дейінгі диапазонда дыбыстарды ести алады. Нәтижесінде дыбыс көбінесе 44100 Гц дискреттеу жиілігімен жазылады. Бұл дискреттеу жиілігі компакт-дискілерде қолданылады. Жалпы жағдайда MPEG-1 (VCD, SVCD, MP3) стандарттары тобында дыбысты кодтау үшін қолданылады. 44100 Гц-та дискретизация жиілігін кеңінен алғашқы рет Sony корпорациясы пайдаланды [5]. Өз уақытында осындай жолмен кодталған дыбыстық жолдар PAL (секундына 25 кадр) және NTSC (секундына 30 кадр) стандарттарында бейнемен біріктіріп, қолданыстағы жабдықты пайдалана отырып, олармен жұмыс істеу ыңғайлы болды. Бұл жиілік 20000 Гц дейінгі диапазонда сапалы дыбыс беру үшін жеткілікті. Әрі дискретизация жиілігін пайдаланатын сандық дыбыс стандарттарының қалыптасуы болған кездегі аналогтық жабдықтың сапасына сәйкес келеді.

Нәтижесінде, жазу кезінде дыбыс дискретизациясының жиілігін 44100 Гц етіп алу ыңғайлы болмақ. Қазіргі заманауи дыбыс карталарында кірістірілген аналогты сигналды сандыққа айналдыратын түрлендіргіштер бар. Сондықтан дыбыспен жұмыс жасау үшін қажетті бағдарламалау тілі мен сәйкес кітапхана таңдаса жеткілікті. Кітапхананы қолдану барысында дискретизациялау жиілігін, канал санын және бит өлшемін беру қажет.

Фурье дискретті түрлендіруі

19 ғасырда Жан Батист Жозеф Фурье ірі жағалық ашты. Яғни, кез келген сигнал уақыт аймағында әрбір синусоидалы сигналдың белгілі бір жиілікке, амплитудаға және фазаға ие болуы шартымен қарапайым синусоидалы сигналдардың кейбір санының (мүмкін шексіз) жиынтығына баламалы болып табылады. Бастапқы сигналды қалыптастыратын синусоид жиынтығы Фурье деп аталады. Басқаша айтқанда, жиіліктер жиынтығын, амплитудалар мен фазаларды, синусоидтің әрқайсысына сәйкес келетін, осы сигналды қалыптастыратын кез-келген сигналды уақыт бойынша ашып көрсетуге болады. Сигналдардың мұндай көрінісі жиілік интервалдарының жиынтығы деп аталады. Жиіліктік интервалдар туралы ақпараттар уақыт бойынша фингерпринтинг немесе динамикалық деректердің статикалық көрінісін бере алады.



Сурет 2. Бастапқы және ФЖТ-нен кейінгі сигналдардың графикалық бейнелері

Сигналдардың жиіліктік сипаттамаларын талдау көптеген есептерді шешуді жеңілдетеді. Цифрлық сигналдарды өңдеу саласында мұндай сипаттамаларды қолдану өте ыңғайлы. Олар сигнал спектрін (оның жиіліктік сипаттамаларын) зерттеуге, осы сигналда қандай жиіліктер бар немесе жоқ екенін анықтауға мүмкіндік береді. Осыдан кейін кейбір жиіліктерді күшейтуге, әлсіретуге немесе бар жиіліктер жиынтығы арасында дыбыс амплитудаларын тануға болады.

Келесі кадамда, сигналдардың уақыт бойынша жиіліктік сипаттамаларын алу тәсілі қарастырылады. Ол үшін Фурье дискретті түрлендіруі (Discrete Fourier Transform) қолданылады. ФДТ - дискретті сигналдарға арналған Фурье талдауының математикалық әдісі.

ФДТ есептеу үшін ең танымал сандық алгоритмдердің бірі - Фурье жылдам түрлендіруі (Fast Fourier Transformation). Шын мәнінде, ФЖТ-ге алгоритмдердің тұтас жиынтығы кірістірілген. Олардың арасында жиі қолданылатыны - Кули-Тьюки (Cooley-Tukey) алгоритмі [6, 7]. ФДТ-нің тікелей есептеуі кезінде n мәліметтер жиынтығы үшін $O(n^2)$ операция қажет етеді, ал Кули-Тьюки алгоритмі сол тапсырманы $O(n \log n)$ операция арқылы шеше алады. 2 - суретте қажетті кітапхананы қолданғаннан кейінгі алынған нәтижелер сызба түрінде көрсетілген.

ФДТ алгоритмін жүзеге асыратын сәйкес кітапханаларды табу қиын емес. Әр түрлі бағдарламалау тілдері үшін арнайы кітапханалар бар:

- C – *FFTW*
- C++ – *EigenFFT*
- Java – *JTransform*
- Python – *NumPy*
- Ruby – *Ruby-FFTW3*
- Swift – *SwiftFFT*

Дыбыс сигнатураларын алу

ФЖТ-нің жағымсыз жақтарының бірі - талдау жүргізу барысында уақыт туралы ақпаратты жоғалтуында (теориялық тұрғыда болдырмауға болады, бірақ іс жүзінде бұл үшін үлкен есептеу қуаты қажет). Мысалы, үш минуттық әуеннің дыбыстық жиіліктері мен олардың амплитудаларын көруге болады, бірақ осы жиіліктер қайда кездесетінін байқау қиын. Ал бұл - музыкалық туындының маңызды сипаттамасы. Сол себепті әрбір жиілік пайда болған кезде нақты уақыт мәндерін табу керек.

Сигналдың жиіліктік сипаттамаларын алғаннан кейін әуеннің сандық сигналдарын қалыптастыруға болады. Бұл Шамам жүзеге асыратын әуен тану процесінің ең маңызды бөлігі. Мұндағы басты қиындық - барлық жиіліктердің арасынан ең маңыздыларын таңдау. Яғни, ең көп амплитудалы (әдетте оларды шыңы деп атайды) жиіліктерге назар аудару қажет. Әр блоктың өлшемін әртүрлі тәсілдерді пайдалана отырып анықтауға болады. Мысалы, егер үлгінің өлшемі 16 битке тең және дискретизация жиілігі 44100 Гц екі арналы дыбысты жазсақ, мұндай дыбыстың бір секунды 176 Кб жадыдан (44100 үлгі * 2 байт * 2 арна) алады. Егер біз 4 Кб өлшемін орнатсақ, онда әрбір секунд сайын 44 деректер блогын талдау қажет болады. Бұл композицияны түгел талдауға мүмкіндік береді.

Алайда, бір әуенде "күшті" жиіліктер диапазоны «до» контроктава нотасынан (32,70 Гц), бесінші октаваның "до" нотасына дейін (4186,01 Гц) өзгеруі мүмкін. Бұл үлкен интервал. Сондықтан, барлық жиілік ауқымын бірден талдау үшін, бірнеше ұсақ интервалдар таңдалады. Әдетте, таңдау маңызды музыкалық компоненттерге тән жиіліктерге негізделеді. Мысалы, Рой Ван Рейн Шамам алгоритмін іске асыру үшін мына аралықтарды пайдаланған. Атап айтқанда, бұл 30 Гц – 40 Гц, 40 Гц – 80 Гц және 80 Гц – 120 Гц төмен дыбыстар үшін. Орташа және жоғары дыбыстар үшін 120 Гц – 180 Гц және 180 Гц – 300 Гц жиіліктері қолданылады. Аралықтарды анықтағаннан кейін ең жоғары деңгейдегі жиіліктерді табуға болады.

Кесте 1. Танылған әуендердің деректер қорындағы көрінісі

№	Әуен аты	Хэш-тег	Уақыт, с
1	Әуен А	30 51 99 121 195	15.34
2	Әуен Б	32 67 100 128 20	78.43
3	Әуен С	34 41 93 161 202	10.89
4	Әуен Д	33 57 95 111 200	54.52
5	Әуен Е	30 51 99 121 195	11.89
6	Әуен К	32 67 100 128 20	29.34

Музыкалық туындыларды іздеуді жеңілдету үшін олардың сигналдары хэш-кестедегі кілттер ретінде қолданылады. Кілттерге сигнал беру табылған жиіліктер жиынтығы сигнатураларға сәйкес алынған уақыт мәндеріне және шығарманың өзінің идентификаторы (ән атауы және орындаушының аты, мысалы) сәйкес келеді. Міне, мұндай жазбалар деректер базасында осы ретте жазылады. Бірнеше әуенді танығаннан кейінгі деректер қорында жалпы алынған нәтижелер көрінісі 1 - кестеде берілген.

Сәйкестіктерді іздеу

Танылған музыкалық туындыны анықтау үшін оны телефон арқылы жоғарыда жазылған сигналдарды өңдеу процесінен өткізу керек. Содан кейін деректер базасында есептелген хэш тегтерін іздеуді бастауға болады. Бірақ бұл жалпы ойланғандай жеңіл емес. Өйткені, хэш-тег шығармаларының көптеген фрагменттері сәйкес келеді. Мысалы, туындының кейбір фрагменті А әннің белгілі бір бөлігі

Е сияқты естіледі. Музыканттар мен композиторлар үнемі бір-бірінен сәтті музыкалық фрагменттерді алып отырады.

Сәйкес келетін хэш-тег табылған кезде, ықтимал сәйкестіктер саны азаяды, бірақ тек осы мәліметтер ғана жалғыз дұрыс музыкалық туындыға тоқтау үшін іздеу ауқымын тарылтуға мүмкіндік бермейді. Сондықтан музыкалық шығармаларды тану алгоритмінде тағы бір маңызды ақпаратты ескеруіміз керек. Атап айтқанда, бұл – сигнатураларға тиесілі уақыт белгілері.

Танылған әуен фрагменті музыкалық туындының кез келген жерінен болуы мүмкін, сондықтан оны жазылған фрагменттің ішіндегі салыстырмалы уақытты деректер базасындағы деректермен тікелей салыстыра алмаймыз. Дегенмен, егер де бірнеше сәйкестік табылған болса, сәйкестіктердің салыстырмалы уақыт аралығын талдауға болады және осылайша, іздеудің нақтылығын арттыруға болады. Мысалы, егер жоғарыда келтірілген кестеге қарасақ, хэш-тег 30 51 99 121 195 А әніне және Е әніне қатысты екенін анықтауға болады. Егер секунд өткен соң біз хэш-тег тексеретін болсақ, онда А әнімен тағы бір сәйкестікті, сонымен қатар осындай жағдайда хэш-тег және олардың уақыт бойынша үлестірілуін анықтауға болады. Танылған әуеннің әрбір хэштері туындының әр сәтіне сәйкес болуы екіталай. Тану барысында шулар көп болады, олар сәйкесінше қателіктер тудырады. Сол себепті сәйкестіктер тізіміндегі барлық әуендерді алып тастамай, керісінше ықтималдылық деңгейіне қарай сұрыптауға болады, сол арқылы рейтинг тізіміндегі бірінші әуен нәтиже ретінде алынады.

Қорытынды

Қорытындылай келе, бұл мақалада дыбысты немесе аудио файлдарды тануға арналған алгоритмнің негізгі жұмыс жасау принциптері түсіндірілді. Кең таралған Шазам алгоритмінің орындалу қадамдары толығымен қарастырылды. Осы алгоритм арқылы жасалынған мобилді қосымша арқылы көптеген қазақ күйлері деректер қорына жинақталып, олар сынақтан сәтті өткізілді. Нақтырақ айтсақ, әуелі қазақ күйлері танылып, олардың жеке сигнатуралық хэштары алынды. Деректер қорына хэштар мезеттік уақыттарымен бірге жазылып отырды. Қажетті күйді табу үшін тыңдалынған күй бөлігін осы процестерден өткізіп, деректер қорынан сәйкес хэштары бойынша іздеу жүргізіледі және сәйкестіктерді іздеу барысында нәтиженің нақты болуы үшін сигнатуралардың мезеттік уақыттары арқылы аралық уақыттар ескерілді.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- 1 An Industrial-Strength Audio Search Algorithm. URL: <https://www.ee.columbia.edu/~dpwe/papers/Wang03-shazam.pdf>
- 2 Creating Shazam in Java. URL: <https://royvanrijn.com/blog/2010/06/creating-shazam-in-java>
- 3 Java. Полное руководство. Десятое издание. Герберт Шилдт. – 2019
- 4 Shazam: алгоритмы распознавания музыки. URL: <https://habr.com/ru/company/wunderfund/blog/275043/>
- 5 Современные информационные технологии в образовании: дидактические проблемы, перспективы использования. Роберт И.В. Школа-Пресс, 1994 – 2004
- 6 Абдулкаримова Г.А., Гусманова Ф.Р. ISO/IEC стандарттар контекстінде программалық жасақтаманың бейімделуін тестілеуді ұйымдастыру үрдісі // КазНПУ, Физико-математические науки, 1(65), 2019, С. 202-208
- 7 Всероссийский институт научной и технической информации РАН Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы. В.В. Борщев, - 2008. - № 6. - С. 22-36.