

9. Ghosh R. Hardware implementation of real-time beat detection and classification algorithm for auto-

mated ecg analysis. Texas: the university of Texas at Dallas, 2018. P. 49–67.

M. Agha Ragheb

Saint Petersburg Electrotechnical University

A. Hardan

Aleppo University

HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR PROCESSING THE RESULTS OF ELECTROCARDIOGRAPHIC STUDIES

We presented an efficient architecture for the hardware implementation of an intelligent adaptive filter to eliminate noise from cardiac signals by designing the artificial neural network (ANN) on Spartan 6 FPGA chip (XC6SLX9), this network is able to remove all types of noise, in addition of suggesting a noise adaptive correction factor in order to obtain noise free signal, this paper compared between adaptive algorithms that used for filtering ECG signal, such as LMS, NLMS, DLMS, RLS algorithms, based on fixed-point arithmetic, using Xilinx FPGA chips, this research presented NN hardware architecture; which consist of two main parts; the first part includes network training using MATLAB program, the second part represents the fixed point hardware implementation of the trained network using FPGA chip, this research presented an applied study to improve the quality of medical systems that require high accuracy in the diagnosis of heart diseases, where the FPGA chips were chosen because FPGAs include the resources needed to design efficient filtering structures, good results were obtained compared to previous researches where we obtained very high PSNR values up to 65.27, thus improving the performance of medical systems with a very small MSE error up to $1.19 \cdot 10^{-6}$, we find that the proposed design offers less Area consumption (number of slices 4%) and less delay than other structures, this research can be used in systems that need continual adaptive tracking, achieve signal processing with high speed.

Intelligent adaptive filter, ANN, Fixed Point, FPGA, VHDL, ECG, PSNR, PRD

УДК 004.627

Р. И. Каргин, Л. Г. Стаценко

Дальневосточный федеральный университет

Форматы сжатия аудиоданных. Анализ и сравнение

Представлены результаты исследования процессов сжатия аудиоданных с помощью различных кодеков, 8 из которых применяют сжатие с потерями, а 2 – сжатие без потерь. Они активно используются в современных системах цифрового воспроизведения аудиоданных и характеризуются высоким качеством звука при ухудшении битрейта, используя современные кодеки. В статье используются такие кодеки, как mp3, FLAC, Wave, WMA, AAC, MPEG, Monkey' Audio, APE, Dolby AC-3, DCA, Ogg, Opus, MusePack. Каждый кодек подвергается изменению битрейта и непосредственному сравнению друг с другом по качеству звучания, а также срезу высоких и низких частот. Все кодеки разделены на группы по методу использования: для сжатия музыкальных композиций, для сжатия аудиоданных, используемых в киноиндустрии, и сжатия без потерь. Также сравниваются различные музыкальные жанры и их отличия в спектрограмме. Делается вывод о причинах различий спектра частот различных жанров. Для сравнения методов сжатия звуковых данных использовано программное обеспечение Adobe Audition CC 2018 и LateXP, позволяющее рассмотреть различные характеристики и свойства аудиоданных, а также применять различные кодеки для их сжатия. Для иллюстрации результата используются графики спектра музыкальных композиций. Исходный файл музыкального трека для сравнения кодеков был взят в формате FLAC (Free Lossless Audio Codec).

Стандарты сжатия аудиоданных, сжатие аудиоданных, mp3, FLAC, AAC, MPEG, Monkey' Audio

В настоящее время возможно уменьшить аудиофайлы без значительной потери качества, отбрасывая частоты, не слышимые для среднего слушателя. Это привело к созданию кодеков для

различных целей, например сжатия в формате 5:1 для показа фильмов или сжатия речевого сигнала при общении в Интернете.

Для каждого отдельного случая применяется свой формат сжатия, который необходим в той или иной ситуации, есть выбор между методом сжатия с потерями и без потерь. При сжатии без потерь имеем тот же файл с небольшой степенью сжатия, которая лишь малой частью отличается от исходного файла. При сжатии с потерями невозможно восстановить исходный файл и, например, в случае с форматом MPEG Layer 3, который удаляет частоты выше 18...20 кГц, в зависимости от частоты дискретизации и битрейта, которые в данном формате связаны [1].

Вариант сжатия выбирается в зависимости от характера избыточности, присутствующей в данных. Разработка алгоритмов сжатия для разных данных делится на 2 этапа. Первый этап называется моделированием. Вследствие этого информация о любой избыточности, встречающейся в данных, описывается моделью. Следующим шагом является кодирование описанной модели, которое показывает различия в данных конкретной моделью. Этот процесс выполняется с использованием двоичного алфавита. Различие между данными и моделью называется отклонением [2]. Сравнению различных кодеков и посвящена статья.

Анализ и сравнение стандартов сжатия аудиоданных. Представлены 10 различных кодеков сжатия аудиоданных, из которых 8 с потерями и 2 без потерь. Исходные файлы брались из формата FLAC, затем перекодировались в итоговые форматы данных. Выбрано 10 музыкальных композиций из разных жанров музыки. Для исследования использовалась программа Adobe Audition CC 2018. Кодирование файлов осуществлялось с помощью программного обеспечения LameXP [3].

Результаты представлены с использованием наиболее важного инструмента – графика, показывающего спектр акустического сигнала. Основной проблемой в системах сжатия с потерями была слабая передача высоких частот, что зависит от частоты дискретизации. Этот эффект возникал при более низких скоростях передачи данных, поскольку в алгоритмах используются фильтры, которые обрезают полосу высоких частот в зависимости от ширины полосы, например 16 кГц, вверх, что и является отчасти свойством психоакустической модели, применяемой в кодеках. Чем ниже битрейт, тем меньшую пропускную способность обеспечивает система [4].

Сравним кодеки, существующие на данный момент и используемые повсеместно, по их непосредственным задачам. Первое, для сравнения

выбраны кодеки Mp3, HE-AAC, MusePack, Ogg, Opus и WMA, которые используются при сжатии музыкальных композиций, форматы сжатия, используемые для просмотра кинофильмов, Dolby AC-3 и DTS. Далее сравним форматы сжатия без потерь Monkey's Audio [5] и FLAC.

Битрейты 320 и 64 кбит/с выбраны исходя из наилучшего возможного качества кодеков и наихудшего – удовлетворительного. Таким образом, чтобы звук был приемлем для прослушивания и наиболее удобен для быстрой передачи через сеть. Битрейт 320 кбит/с является наилучшим для кодера Mp3, исходя из этого он взят как граничный. Битрейт 64 кбит/с имеет плохое качество, но также обладает свойством разборчивости, в то время как битрейты меньше 64 кбит/с это свойство неизбежно теряют. Исходя из этого он был выбран как наименьший граничный.

Подобный анализ был проведен авторами Н. Новаком и В. Забиеровским в 2011 г. [6]. В их работе было использовано всего 6 форматов сжатия – 4 с потерями и 2 без потерь. За период в 8 лет каждый из этих кодеков был усовершенствован и появились более современные аналоги, такие, как HE-AAC и Opus, которые превосходят рассмотренные в работе Н. Новака и В. Забиеровски на порядок.

Сравнение форматов музыкальных композиций при битрейте 320 кбит/с. Начнем со сравнения форматов с потерями, используемых для сжатия музыкальных композиций. Возьмем для сравнения файлы с битрейтом 320 и 64 кбит/с. При использовании более высокого битрейта достигается наилучшее качество, но необходимый объем занимаемого на диске места растет. Однако при низком битрейте получаем большую скорость передачи при небольшом объеме данных, но страдает качество.

За основу взята композиция в формате FLAC – «Periphery – Scarlet», которая после кодирования в различные кодеки стала иметь следующие свойства (табл. 1).

Таблица 1

Формат	Битрейт, кбит/с	Размер, Мбайт	Битрейт, кбит/с	Размер, Мбайт
.flac	1052	31.2	–	–
HE .aac	320	9.53	65.6	1.94
LC .aac	–	–	64.8	1.92
.mp3	320	9.49	64	1.89
.mpc	320	9.28	64	1.99
.ogg	320	10.1	64	1.96
.opus	256	7.63	64	1.91
.wma	320	9.56	64	1.92

Можно заметить, что при битрейте 256 кбит/с формат Opus занимает меньше памяти, а Ogg – больше остальных при битрейте 320 кбит/с. Однако при битрейте 64 кбит/с наименьший объем занимает MP3, а наибольший MusePack.

Рассмотрим спектры данных аудиоформатов при битрейте 320 кбит/с (рис. 1 – скриншот спектрограммы).

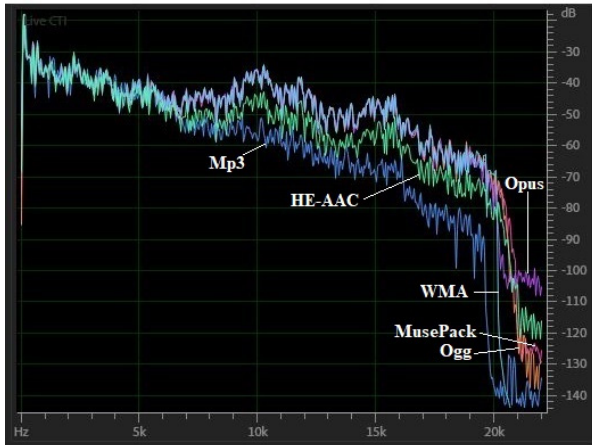


Рис. 1

Видно, что при битрейте в 320 кбит/с форматы HE AAC, MusePack и Ogg имеют схожие спектры и срез частот выше 20 кГц до -120 дБ. Однако формат Opus при 256 кбит/с срезает частоты выше 20 кГц до -105 дБ, в то время как форматы Mp3 и WMA также схожи друг с другом, но отличаются от первой группы более агрессивным срезом частот выше 20 кГц до -130 дБ и более. При прослушивании на непрофессиональном оборудовании или человеку старше 40 лет это будет менее заметно на слух, что вполне приемлемо [7].

Очевидно, при использовании профессионального оборудования форматы Mp3 и WMA не дадут высокого качества звучания.

В табл. 2 представлены 10 выбранных композиций при битрейте 320 кбит/с.

Сравнение форматов музыкальных композиций при битрейте 64 кбит/с. Теперь необходимо провести сравнительный анализ форматов, часто используемых в музыке, при качестве 64 кбит/с. Их спектры можно увидеть на рис. 2.

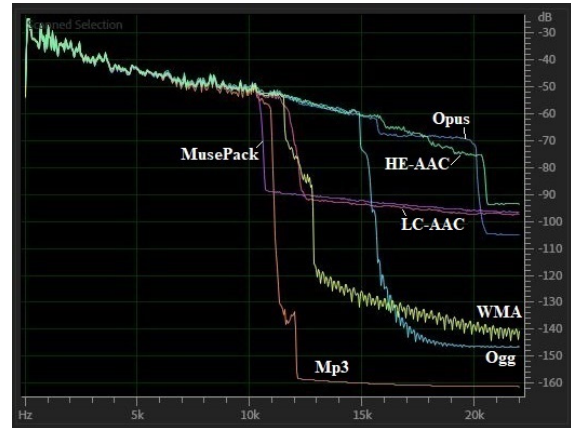


Рис. 2

Видно, что форматы HE AAC и Opus примерно схожи по своим спектрам, но в формате Opus есть небольшой срез частот после 16 кГц, в то время как формат HE AAC, использующий технологию Spectral Band Replication (SBR), этого среза не имеет. Также в формате HE AAC используется параметрическое кодирование стереопанорамы [8]. К сравнению добавлена первая версия кодека AAC – LC-AAC для наглядной демонстрации новой версии кодека AAC.

В остальных форматах с уменьшением битрейта увеличивается срез частоты в зависимости от используемой технологии. При этом только у формата MP3 частота дискретизации неминуемо снижается до 24 кГц. У остальных форматов наблюдается срез высоких частот. Можно выделить 3 группы и один отдельный формат по степени среза высоких частот:

Таблица 2

Название	Формат и размер, Мбайт					
	HE AAC 320 кбит/с	MP3 320 кбит/с	MusePack 320 кбит/с	Ogg 320 кбит/с	Opus 256 кбит/с	WMA 320 кбит/с
«Shadows»	12.00	11.90	12.10	12.20	9.62	12.00
«Forever lost»	14.60	14.50	14.80	13.90	11.70	14.60
«Seven»	7.55	7.51	7.62	8.15	6.04	7.58
«Architect»	7.51	7.48	7.64	8.21	6.01	7.55
«Olympic Airways»	9.85	9.81	9.92	9.34	7.99	9.86
«Scarlet»	9.53	9.49	9.28	10.10	7.63	9.56
«Undercover Martin»	6.44	6.41	6.49	6.79	5.16	6.43
«CAFO»	15.60	15.50	16.50	16.60	12.60	15.60
«Big Big Love»	13.50	13.40	14.40	14.40	10.90	13.40
«Ow My Feelings»	14.00	13.90	14.20	14.00	11.20	14.00

Таблица 3

Название	Формат и размер, Мбайт						
	HE AAC 64 кбит/с	LC AAC 64 кбит/с	MP3 64 кбит/с	MusePack 64 кбит/с	Ogg 64 кбит/с	Opus 64 кбит/с	WMA 64 кбит/с
«Shadows»	2.42	2.42	2.39	2.27	2.26	2.41	2.42
«Forever lost»	2.95	2.95	2.91	2.89	2.67	2.94	2.95
«Seven»	1.52	1.52	1.50	1.52	1.51	1.51	1.53
«Architect»	1.51	1.51	1.49	1.46	1.48	1.51	1.51
«Olympic Airways»	2.14	2.14	2.11	2.05	1.91	2.20	2.14
«Scarlet»	1.92	1.92	1.89	1.99	1.96	1.91	1.92
«Undercover Martin»	1.30	1.30	1.28	1.25	1.36	1.29	1.30
«CAFO»	3.34	3.34	3.31	3.54	3.10	3.42	3.34
«Big Big Love»	2.87	2.87	2.84	3.16	2.81	2.93	2.87
«Ow My Feelings»	2.83	2.83	2.79	2.84	2.83	2.82	2.84

1. HE AAC и Opus = 20 кГц.
2. Ogg = 15 кГц.
3. LC AAC и WMA = 12 кГц.
4. MP3 и MusePack = 11 кГц.

В табл. 3 представлено сравнение форматов, используемых в музыке с битрейтом 64 кбит/с.

Видно, что форматы HE AAC и WMA имеют практически одинаковую степень сжатия даже при битрейте 64 кбит/с, но при этом формат AAC превосходит WMA по качеству звучания из-за технологий SBR и PS. Также формат первого поколения LC AAC имеет такой же объем данных, как и улучшенная версия HE AAC, при этом имеет худшее, заметное на слух, качество звучания.

Можно сделать вывод, что на сегодняшний день форматы HE AAC и Opus являются наилучшими в соотношении битрейт/качество. Далее идет формат Ogg, а затем устаревшие LC AAC, WMA, MP3 и MusePack.

Сравнение разборчивости форматов музыкальных композиций. Для более точного анализа необходимо, чтобы музыкальные композиции были прослушаны человеком, так как только человек является конечной точкой, которая и оценивает качество работы кодеков. Для этого необходимо прослушать все композиции, перекодированные использованными в данной статье кодеками при битрейте 64 кбит/с. Композиции, кодированные при битрейте 320 кбит/с, не рассматриваются, так как они схожи по звучанию и нет необходимости их сравнивать. Результат разборчивости можно увидеть в табл. 4 [9].

Форматы HE AAC и Opus имеют наилучшее качество звучания, уступая всем форматам при битрейте 320 кбит/с. Далее следует формат Ogg, который имеет немного меньше высоких частот, но звучит это приемлемо. Затем следуют LC AAC, MP3 и MusePack, которые схожи по звучанию и характеризуются лишними шумами, по-

явившимися после кодирования, и отсутствием высоких частот [8]. В формате WMA после кодирования появляются лишние шумы и щелчки, что неприемлемо даже для 64 кбит/с.

Таблица 4

Формат и битрейт	Оценка разборчивости
HE AAC 64 кбит/с	Хорошо
Opus 64 кбит/с	Хорошо
Ogg 64 кбит/с	Средне
LC AAC 64 кбит/с	Ниже среднего
MP3 64 кбит/с	Плохо
MusePack 64 кбит/с	Плохо
WMA 64 кбит/с	Очень плохо

Взглянув на результаты сравнения форматов при битрейте 64 кбит/с (см. рис. 2), можно увидеть, что спектр частот показывает такой же результат. Это значит, что при отсутствии высоких частот качество звука неминуемо ухудшается.

Сравнение форматов, применяемых в киноиндустрии при битрейте 320 кбит/с. Перейдем к сравнению форматов, применяемых при записи звука в киноиндустрии, таких, как Dolby AC-3 и Digital Theater System (DTS). Рассмотрим спектры при битрейте 320 кбит/с (рис. 3).

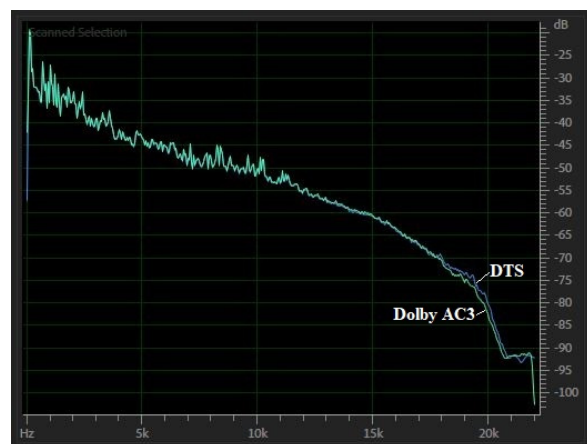


Рис. 3

Таблица 5

При внимательном сравнении спектров можно заметить, что на уровне громкости 75 дБ амплитуда у формата Dolby AC3 ниже на 2 дБ, чем у формата DTS. Это может привести к тому, что высокие частоты при сжатии с помощью DTS будут громче, но без профессионального оборудования это не будет заметно.

В табл. 5 представлен объем, занимаемый аудиоданными при кодировании в форматы, используемые в киноиндустрии.

Можно сделать вывод, что формат Dolby AC3 имеет больший процент сжатия, чем DTS, именно из-за высоких частот, которые он снижает на 2 дБ, и имеет размер меньше на 0.10 Мбайт.

Сравнение спектров музыки при сжатии без потерь. Перейдем к сравнению форматов со сжатием без потерь, таких, как FLAC и APE. Исходный файл имел формат Wave, который сам по себе является классическим форматом без сжатия. Ниже приведено сравнение спектров двух форматов без сжатия Monkey's Audio и FLAC (рис. 4).

Видно, что спектры идентичны, что и подразумевает под собой сжатие без потерь. В табл. 6 приведены результаты сравнения исходного формата Wave с форматами Monkey's Audio и FLAC, в которые он перекодирован.

Название	Формат и размер, Мбайт	
	AC3 320 кбит/с	DTS 320 кбит/с
«Shadows»	11.90	12.00
«Forever lost»	14.50	14.60
«Seven»	7.51	7.57
«Architect»	7.47	7.53
«Olympic Airways»	9.61	9.69
«Scarlet»	9.49	9.56
«Undercover Martin»	6.41	6.46
«CAFO»	15.30	15.40
«Big Big Love»	13.20	13.30
«Ow My Feelings»	13.90	14.00

Форматы Monkey's Audio и FLAC схожи в выходных данных, однако формат FLAC требует меньшей вычислительной мощности при декодировании, поэтому применяется повсеместно, хотя итоговых различий между ними практически нет.

Сравнение спектров музыки различных жанров. Сравним спектры музыки, относящейся к разным жанрам. Названия композиций и их свойства представлены в табл. 7.

На рис. 5 представлено сравнение спектров музыкальных композиций, приведенных в табл. 7.

Таблица 6

Название композиций	Wave	Monkey's Audio	FLAC
	Размер, Мбайт		
«Shadows»	52.70	36.80	36.80
«Forever lost»	64.20	41.10	41.40
«Seven»	33.10	24.40	24.50
«Architect»	32.90	25.20	25.30
«Olympic Airways»	42.40	27.50	27.80
«Scarlet»	41.80	31.40	31.20
«Undercover Martin»	28.20	20.10	20.30
«CAFO»	67.40	48.80	49.30
«Big Big Love»	58.40	37.90	38.60
«Ow My Feelings»	61.60	44.80	45.20

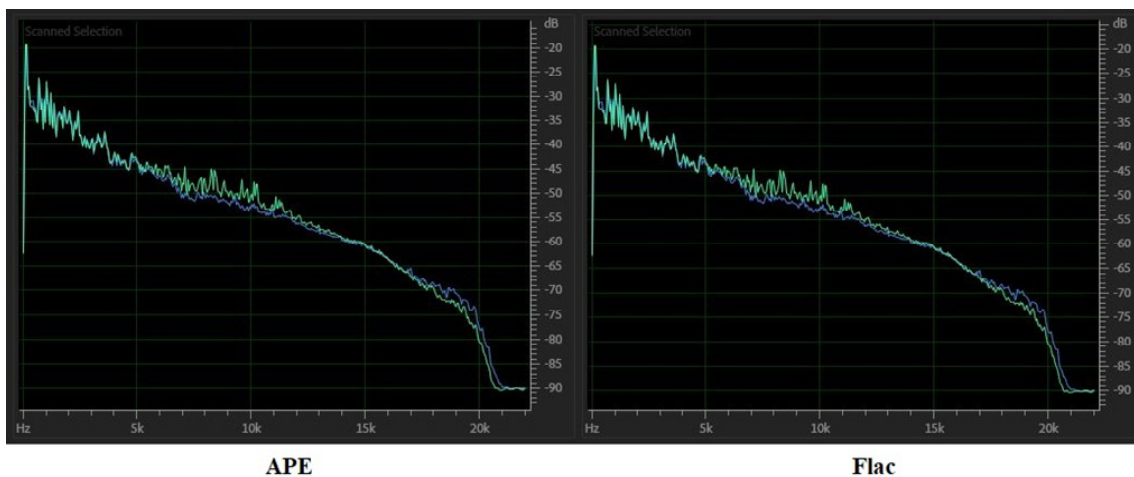


Рис. 4

Название	Жанр	Формат сжатия
«God Is An Astronaut – Shadows»	Post-rock	flac
«Foals – Olympic airways»	Indie-rock, math-rock	flac
«Periphery – Scarlet»	Progressive Metalcore	flac
«Two Door Cinema Club – Undercover Martin»	Indie-rock	flac
«Animals As Leaders – CAFO»	Instrumental, Progressive Metalcore	flac
«Innerpartysystem – Last Night In Brooklyn»	Electronic, Sunth-rock	Mp3

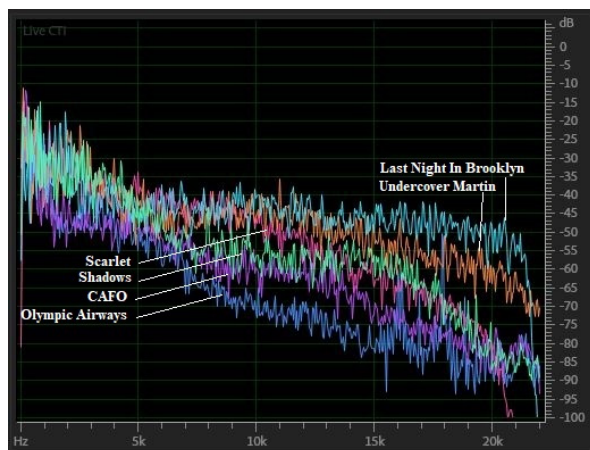


Рис. 5

Видно, что спектры инструментальных жанров схожи друг с другом, имеют высокую амплитуду на низких частотах и плавный спад на высоких частотах после 5 кГц, кроме спектра электронной композиции. Но это скорее свидетельствует о мастерстве звукорежиссера, чем о жанре музыки [10]–[12].

В данной статье были представлены к сравнению форматы LC AAC, HE AAC, Dolby AC3, DTS, Monkey's Audio, MP3, MusePack, Ogg, Opus, WMA и FLAC. Все форматы были объединены в отдельные группы использования по назначению, например форматы сжатия, используемые в музыке, для кинофильмов, и форматы сжатия без

потерь. Для каждого кодека были представлены различные значения битрейта и их сравнение с помощью спектрограмм, а также значения, показывающие объем, занимаемый данными на диске.

Можно сделать следующий вывод: при высоких битрейтах форматы схожи между собой по звучанию, но не всегда по спектру. Если есть схожесть при высоком битрейте, то она сохраняется и на более низких битрейтах. В связи с этим можно выработать рекомендацию по использованию кодека в современных аудиосистемах. Для музыки на сегодняшний день лучше использовать формат HE AAC, так как он имеет возможность анализа спектра низких и средних частот и привнесения его в высокочастотную область. Также он превосходит по звучанию большинство возможных на сегодняшний день форматов сжатия с потерями, имея при этом наименьший занимаемый объем, по сравнению с остальными. В связи с этим HE-AAC рекомендуется для использования при сжатии любой музыкальной аудиоинформации. Для аудиоданных в кинофильмах нет большой разницы в использовании форматов Dolby или DTS, так как они схожи. При использовании сжатия без потерь на текущий момент лучше применять формат FLAC, так как он имеет большую скорость передачи и требует меньших вычислительных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Watkinson J. An Introduction to Digital Audio. Second Edition. Waltham, Massachusetts: Focal Press, 2013. 419 p.
2. Заболотов В. А., Стефанова И. А. Сжатие аудиоданных на основе психоакустических свойств слуха человека. Естественные и математические науки в современном мире // Сб. ст. по матер. XLIII Междунар. науч.-практ. конф. № 6(41). Новосибирск: СибАК, 2016. С. 43–51.
3. LameXP – Audio Encoder Front-End. URL: <http://lamexp.sourceforge.net/> (дата обращения 16.06.2019).
4. Ulacha G., Stasinski R. Context Lossless Coding of Audio Signals // Compression Conf. Snowbird: UT, 2013. P. 523–523.
5. Monkey's Audio Compression. URL: <https://www.monkeysaudio.com/>. (дата обращения 16.06.2019).
6. Nowak N., Zabierowski W. Methods of Sound Data Compression – Comparison of Different Standards // Радиоэлектроника и информатика. 2011. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/methods-of-sound-data-compression-comparison-of-different-standards> (дата обращения 10.06.2019).
7. Luthfi F., Erwin S. Data audio compression lossless FLAC format to lossy audio MP3 format with Huffman Shift Coding algorithm // 2016 4th Intern. Conf. on Information and Communication Technology (ICOICT), Bandung, 2016. P. 1–5.
8. Rupali B., Patil Dr., Kulat K. D. Audio compression using dynamic Huffman and RLE coding // 2017 2nd Intern. Conf. on Communication and Electronics Systems (ICCES), Coimbatore, 2017. P. 160–162.

9. Ковалгин Ю. А., Вологдин Э. И. Цифровое кодирование звуковых сигналов. СПб.: КОРОНА-принт, 2004. 240 с.

10. Ковалгин Ю. А., Фадеева Д. Р. Исследование психоакустических моделей кодеков с компрессией цифровых аудиоданных // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. 2016. № 7. С. 29–38.

11. Ковалгин Ю. А. Психоакустика и компрессия цифровых аудиоданных / СПбГУТ. СПб., 2013. 300 с.

12. Ковалгин Ю. А., Вологдин Э. И. Аудиотехника / под ред. проф. Ю. А. Ковалгина. М.: Горячая линия – Телеком, 2013. 768 с.

R. I. Kargin, L. G. Statsenko
Far Eastern Federal University

FORMATS OF AUDIO DATA COMPRESSION. ANALYSIS AND COMPARISON

Is devoted to the study of audio data compression processes using various codecs, 8 of which use lossy compression and lossless compression. They demonstrate high sound quality while improving bitrate using modern codecs. The article uses codecs such as: mp3, FLAC, Wave, WMA, AAC, MPEG, Monkey 'Audio, APE, Dolby AC-3, DCA, Ogg, Opus, MusePack. Each codec is subject to change and direct comparison with each other. Everything in the code is a division into groups according to the method: use to compress musical compositions, to compress audio in the film industry and lossless compression. Comparison of different musical genres and their differences in the spectrogram. The conclusion about the causes of different genres is also drawn. To compare methods for compressing audio data, the software used is Adobe Audition CC 2018 and LameXP, which allow you to consider various characteristics and properties of audio data, as well as apply different codecs to compress them. To illustrate the result, a range of musical compositions are used. The source file of the music track for comparing codecs was taken in the FLAC format (Free Lossless Audio Codec).

Standards for audio data compression, audio data compression, mp3, FLAC, AAC, MPEG, Monkey' Audio

УДК 004.021

Ш. Х. Султонов, В. П. Бубнов
Петербургский государственный университет
пути сообщения Императора Александра I

Программа для автоматизации вычислений величин нагрузок, действующих на кузов вагона, при прочностных расчетах

Проводится автоматизация вычислений нагрузок, действующих на конструкцию кузова грузового вагона, при прочностных расчетах с дальнейшим трехмерным моделированием с применением информационных технологий. Приводится функциональная схема разработанной программы для вычисления нагрузок, действующих на кузов вагона. Определены этапы разработки и основные модули программного продукта, реализующего математические вычисления. Обсуждаются вопросы особенности программной реализации представленных алгоритмов с помощью объектно-ориентированного языка программирования C#. Разработанная программа на языке C# с применением интегрированной среды Visual Studio позволяет повысить точность и сократить сроки вычисления нагрузок, действующих на кузов грузового вагона, при прочностных расчетах с различными исходными технико-экономическими характеристиками и конструкционными особенностями грузовых вагонов. Приведен инженерный анализ с использованием значений нагрузок, полученных с применением разработанной программы.

Вагоностроение, грузовой вагон, моделирование, нагрузка, прочность, автоматизация, принципиальная схема, алгоритм, программирование, объектно-ориентированное программирование (C#)

Создание интерфейсов программного обеспечения, поддерживающих и предлагающих более эргономичные и естественные формы диалога

между пользователями и компьютерной техникой, движется и ускоряется внедрением информационных технологий вслед растущим потребностям