

## DIGITAL PROCESSING OF AUDIO SIGNALS IN COMMUNICATIONS<sup>1</sup>

---

**Assoc. Prof. Boyan Karapenev, PhD**

Department of the Communication Equipment and Technologies

Technical university of Gabrovo

Phone: 066-827 415

E-mail: bkarapenev@tugab.bg

**Ivilina Dimitrova, Eng., PhD student**

Department of the Communication Equipment and Technologies

Technical university of Gabrovo

Phone: 066-827 203

E-mail: inj.90@abv.bg

***Abstract:** This overview paper presents the digital signal processing (DSP) and their extensive application in communication technology. The main applications and objects for conducting scientific research related to DSP of audio signals are:*

*- GSM COMMUNICATIONS - the transmission of speech, audio signals and additional voice services to anywhere in the world;*

*- AUDIO SIGNALS IN PERSONAL COMPUTERS - software processing of audio file formats, depending on the modern technological requirements;*

*- DIGITAL RADIO BROADCASTING - Improving the quality of the radio broadcast and supplementary to it text, images and other data.*

**Keywords:** GSM COMMUNICATIONS, AUDIO FILE FORMATS, DIGITAL RADIO BROADCASTING.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Широкото използване на системите за цифрова обработка на сигнали (ЦОС) се дължи на нейните големи предимства в сравнение с аналогичните аналогови методи и начини на реализация:

- висока надежност;
- повторяемост на резултатите;
- лесна промяна на параметрите на системата чрез модификация на алгоритъма за управление;
- параметрите на системата не се влияят от атмосферни фактори, паразитни капацитети, индуктивности и други смущаващи фактори;
- по-малки размери и консумация;
- възможност за програмна реализация компоненти, които са практически трудно реализуеми.

Понастоящем ЦОС е намерила много широко приложение в съвременния XXI век, век на информационните и комуникационните системи и технологии, като обработка на изображения, обработка на технологични процеси, управление на лазерна техника и технологични процеси, GSM комуникации, аудио обработка, цифрово радио, цифрова телевизия, цифрова филтрация, интернет, медицина, автомобилостроене, военна техника, поточно аудио и видео в интернет, мониторинг на различни процеси и много други.

Разработването на системи, използващи DSP, изисква много добра инженерна подготовка особено при разработването на алгоритми, тяхната програмна реализация, владенето на програмни езици и не на последно място математическа подготовка.

---

<sup>1</sup> Докладът е представен на сесия на 27 октомври 2017 с оригинално заглавие на български език: Цифрова обработка на аудио сигнали в комуникациите

ИЗЛОЖЕНИЕ

Основните компоненти, от които се изграждат системите за ЦОС, са:

А. Преобразувател на непрекъснатия сигнал в цифров, който се реализира чрез система следене-запомняне (Т/Н) и цифрово-аналогов преобразувател (АЦП). Най-широко използваните в практиката АЦП са: АЦП по метода на последователното приближение (successive approximation); паралелни и сигма-делта АЦП;

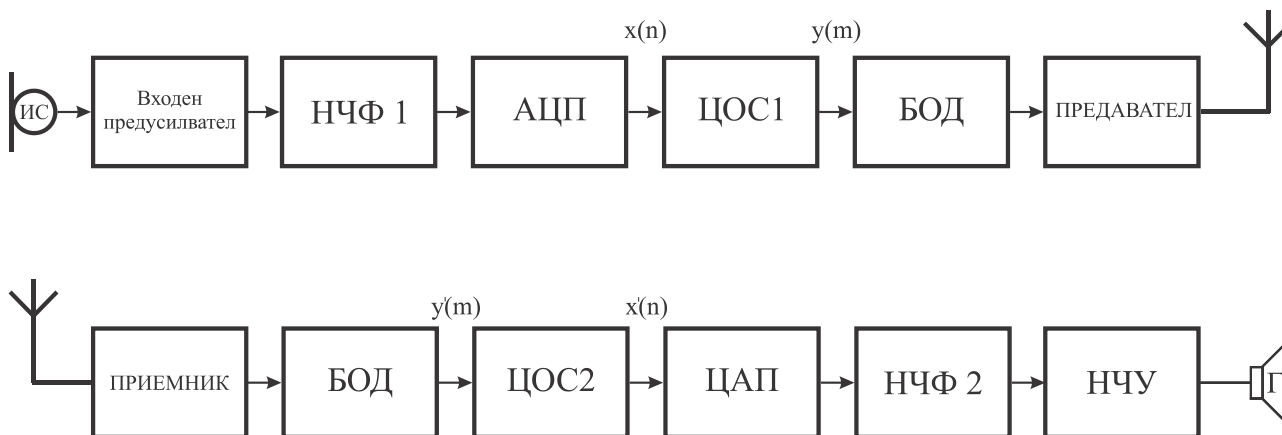
В. Микропроцесорна система за реализация на разработения цифров алгоритъм;

С. Преобразувател на цифровия сигнал в непрекъснат. Апаратно това конвертиране се реализира чрез цифрово-аналогов преобразувател (ЦАП) и нискочестотен аналогов филтър (НЧФ).

Основните приложения и обекти за извършване на научно-изследователска дейност, свързани с цифровата обработка на аудио сигнали в комуникациите, са:

**1. GSM комуникации**

На фиг. 1 е показана обобщена блокова схема на система за GSM комуникации [1]. Тя е реализирана на базата на: източник на сигнал, входен предусилвател, нискочестотен филтър (НЧФ1), аналогово-цифров преобразувател (АЦП), блок за цифрова обработка на сигнали (ЦОС1), блок за обработка на данните (БОД), предавател. В приемната страна блоковете са: приемник, БОД, ЦОС2, цифрово-аналогов преобразувател (ЦАП), НЧФ2, нискочестотен усилвател (НЧУ), възпроизвеждащо устройство – говорител.



Фиг. 1. Обобщена блокова схема на система за GSM комуникации

Електрическият сигнал от източника на сигнал (ИС) се усилва от входния предусилвател, и след това се филтрира от НЧФ1, който ограничава честотната лента до  $2.f_m$ . След АЦП цифровият сигнал  $x(n)$  има честота на дискретизация  $f_s=8$  kHz и брой на битовете 13, при което скоростта на данните е 104 kbit/s. Следва блок за ЦОС1, в който върху постъпващата входна последователност  $x(n)$  се извършват определени математически и логически операции (умножаване, събиране/изваждане, сравняване, четене и запис на данни) съгласно алгоритъм, заложен в програмната памет. Тези операции се извършват от процесор за ЦОС, работещ с тактова честота  $f_c \gg f_s$ . Целта на ЦОС е сигналът на изхода (на ЦОС1) да бъде силно компресиран и да има скорост 13 kbit/s. В БОД1 се извършва шумоустойчиво кодиране (не е обект на ЦОС). Така формираните данни се подават към предавателя, който излъчва радиосигнала.

При приемане на сигнала (след приемника) и декодирането на шумоустойчивия код в БОД2, данните се подават към ЦОС2, където след ЦОС се синтезира говорният сигнал, който се подава към ЦАП, НЧФ2, НЧУ и възпроизвеждащото устройство - говорителя.

Необходимите условия за правилно предване на сигнала и получаването му в приемника са:

$$y(m) = y(m), \text{ равни при открити и коригирани грешки при шумоустойчивото}$$

декодиране;

$x(n) \neq x'(n)$  – винаги различни, поради използвания алгоритъм за компресия със загуби.

Благодарение на използвания алгоритъм за ЦОС Получава се 8 пъти по-малка честотна лента (извършва се от БЦО) на канала за връзка.

Освен предаването на говор или аудио сигнали технологията GSM осигурява и следните услуги: предаване на кратки съобщения (SMS); предаване на факсови съобщения; и още много други услуги, които не се предоставят задължително от мобилните оператори – гласова поща, чакащо повикване, конферентна връзка, безусловно и условно пренасочване на повикванията, забрана на услуги като международни разговори и роуминг.

Говорната (гласовата) информация може да се предава не само по GSM стандарта, но и да се обработва в персоналните компютри и по интернет.

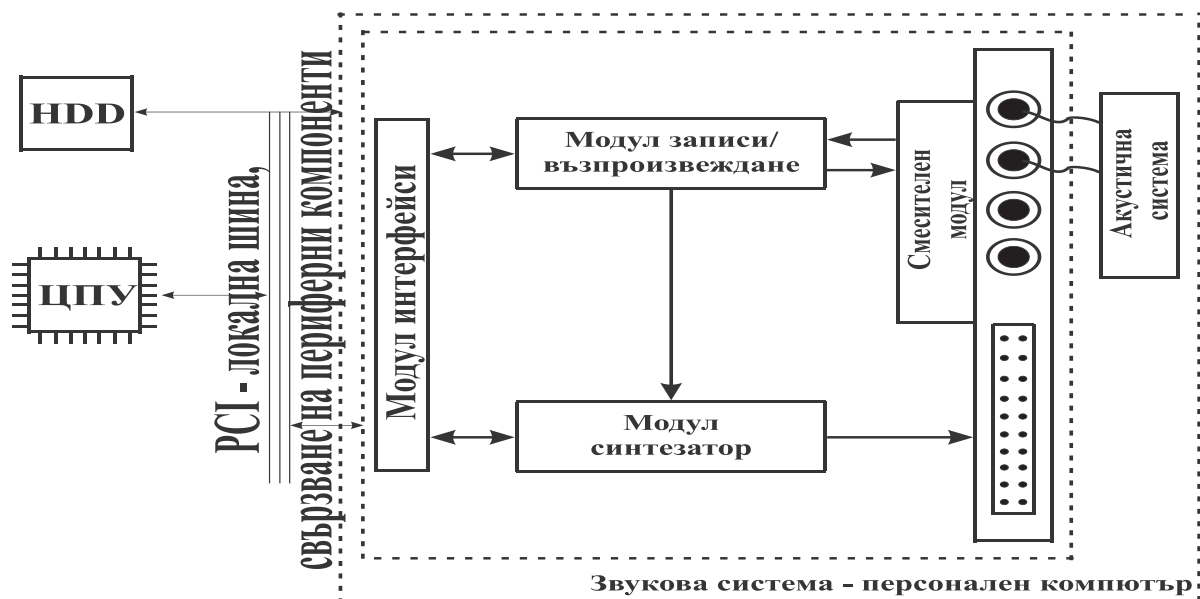
## 2. АУДИО СИГНАЛИ В ПЕРСОНАЛНИТЕ КОМПЮТРИ

За да може персоналният компютър да съхранява и обработва аудио информацията, тя трябва да се представи в цифров вид (двоичен код), а за да може да се възпроизведе звукът, се извършва обратното преобразуване. Входният сигнал се обработва от АЦП, а изходния сигнал от ЦАП, като стандартното ниво на изхода на звуковата карта е 0,775 V.

Представянето на звуковата вълна в цифров вид става, чрез измерване на стойностите и през определено време (период на дискретизация -  $T_s$ ), който е обратно пропорционален на честотата на дискретизация  $f_s$ . Колкото тя е по-голяма, толкова по-точно се предава формата на звуковата вълна. Честотата на дискретизация  $f_s$  на формата аудио CD е 44 100 Hz.

Друг важен елемент за точността на предаване на звуковата вълна в цифров вид е процесът квантуване - броят стойности, с които се описва амплитудата на сигнала във всеки момент (секунда) – bit rate. Колкото повече квантувани нива се използват, толкова по-точно се описва звуковата вълна. Стандартното аудио CD се записва с 65 536 (от 0 до 65 535) стойности на амплитудата на звуковата вълна или 16 бита в двоичната бройна система. Все по-често при запис се използва 24 bit, което означава и много по-голяма точност на измерването – 16 777 216 стойности. Третият важен процес при дискретизацията на аудио сигнали е кодирането – представяне на нивата на квантуване в двоичен код (0,1). Ако скалата на квантуване е съставена от 256 нива (стойности), то всяко ниво ще се кодира с 8 бита -  $2^8$ .

Блоквата схема на звукова карта на персоналният компютър е представена на фиг. 2.



Фиг. 2. Блоквата схема на звукова система на персонален компютър

Аудио сигналът може да бъде в различни аудио формати, които се класифицират по различни критерии.

Аудио файловият формат съхранява аудио данните в цифров вид в персоналния компютър. Форматите за аудио кодиране могат да бъдат с или без използването на компресия, като първите се използват за намаляване на размера на получените файлове и могат да бъдат без или със загуба на информация.

Форматите без загуба на информация осигуряват съотношение на компресия от около 2:1, а тези със загуба на информация имат за цел да намалят времето за обработка, като запази добро съотношение на компресия.

**Компресията със загуба** позволява още по-голямо намаляване на размера на файла, като се премахне част от аудио информацията и се опростят данните. Това води до намаляване на качеството на аудио информацията, но се използват разнообразни техники, предимно чрез използване на психоакустика, за премахване на частите на звука, които имат най-малък ефект върху възприеманото качество, и за свеждане до минимум на количеството на шума в звука. Форматът MP3 е най-известният пример, но форматът AAC, който се намира в iTunes Music Store, също е често срещан. Повечето формати предлагат избор на степен на компресия, обикновено измерени в скорост на предаване на данни. Колкото по-ниска е скоростта, толкова по-малък е файла, толкова по-голяма е загубата на качество.

В таблица 1 са класифицирани основните аудио формати, по трите основни критерия за компресия.

Таблица 1. Класификация на основните видове аудио формати

Некомпресирани аудио формати	WAV; AIFF; AU; RAW HEADER LESS PCM; RMI
Компресия без загуба на информация	FLAC; MONKEY'S AUDIO (APE); WAVPACK (WV); TTA; ATRAC ADVANCED LOSSLESS; ALAC (M4A); MPEG-4 ALS; MPEG-4 DST; WINDOWS MEDIA AUDIO LOSSLESS (WMA LOSSLESS); SHORTEN (SHN).
Компресия със загуба на информация	OPUS; MP3; VORBIS; MUSEPACK; AAC; ATRAC; WINDOWS MEDIA AUDIO LOSSY (WMA LOSSY); OGG.

Кратка характеристика на най-широко разпространените аудио формати:

**WAV** е стандартен контейнерен звуков файл формат, използван основно в Windows персонални компютри. Обикновено се използва за съхранение на некомпресирани звукови файлове със CD-качество, което означава, че те са големи — около 10 MB за минута. Wave файловете могат също да съдържат данни, кодирани с различни кодеци за да се намали големината на файла (например GSM или mp3 кодеци).

**AIFF** (Audio Interchange File Format) форматът е разработен от Apple за Mac системите. Повечето AIFF файлове съдържат некомпресирано аудио в цифров формат.

**FLAC** (Free Lossless Audio Codec) е файл формат за съхраняване на аудио-информация. Алгоритъмът му на архивиране е подобен на ZIP, но е създаден специално за цифрови аудио данни и осигурява компресия без загуба на качеството на звука. Разработва се като проект с отворен код, не е обвързан с патент, поддържа се от широко разпространения аудио софтуер и е напълно безплатен.

**Monkey's Audio** прави бит по бит копия на музиката като компресираният вариант е напълно еднакъв с оригинала. Звукът е с много добро качество и архиваторът спестява много място. Monkey's Audio е като WinZip на музиката и винаги може да се декомпресира файла обратно към оригинала. Форматът на програмата се поддържа от Winamp, JRiver Media Center, Foobar2000 и други плеъри.

**MP3** (MPEG1 Audio Layer 3) - формат за кодиране на звук. Използва алгоритъм за компресия със загуби с цел значително да намали количеството данни, необходими за възпроизвеждане на звука, като в същото време запазва качеството близко до оригиналния некомпресиран вид. Цифров MP3 файл, създаден при 128 kbits/s е обикновено с размер 1/10

от размера на данните, намиращи се на музикално CD.

**ААС (Advanced Audio Coding)** е стандартизирана кодираща и компресираща схема за цифровизация на аудио информацията. Създаден е за да замени MP3 формата и постига по-добро качество от него. Форматът е стандартизиран от ISO като част от MPEG-2 Част7 и MPEG-4. ААС е използван от iPhone, iPod, iPad, iTunes и PlayStation3. Форматът поддържа честоти от 8 до 96 kHz и 48 канала. Файловете разширения, включващи ААС, са .m4a, .m4b, .m4p, .m4v, .m4r, .3gp, .mp4, .aac.

**Аудио софтуерът** позволява редактиране и генериране на аудио данни. Той може да бъде изпълнен изцяло или отчасти като библиотека, като компютърно приложение, като уеб приложение. Аудио редакторите могат да обработват данните без загуби в реално време или като "офлайн" процес, или хибрид с някои ефекти в реално време и някои офлайн ефекти. В таблица 2 е представен аудио софтуерът, намерил най-широко приложение.

Таблица 2. Софтуер за редактиране на аудио

Cool Record Edit Deluxe 7.9.3	Редактира и подобрява качеството на аудио файловете. Притежава функционални възможности за: изолиране на странични шумове, премахване на ехо, изолиране на отделни звукови канали, увеличаване качеството на звука и още много други.
Cool Edit Pro	Изчистване на шума от запис от касета, както и всякакъв шум. Част от ефектите включват 10, 20, 30 канален еквалайзер, FFT филтър, различни научни филтри, нормализация, усилване на сигнала (както и постепенно усилване или отслабване - fading), генериране на различни по вид сигнали, прецизен достъп до всяка част от песента (до отделния семпъл (sample)). Пълна 32 битова обработка, поддържа честоти (sample rates) от 1Hz до 10MHz!
Adobe audition	Лесно и прецизно смесване, записване и редактиране на аудио файлове.
Bigasoft Audio Converter	Конвертиране на аудио файлове от един в друг формат като поддържаните формати са MP3, WMA, M4A, AAC, AC3, WAV, OGG и други. Програмата позволява избор на крайните параметри на конвертирания файл, изрязване на част от песента, работа с няколко файла едновременно, както и извличане на аудио потоци от видео файлове като AVI, MPEG, MP4.
Magix sound forge	Обработка звука на професионално ниво и може да обработва аудиосигнали (като се изменят или редактират). Sound Forge Pro успешно обединява пълен набор от съвременни звукови ефекти и мощни средства за редактиране на звук.
Xilisoft cd ripper	Инструмент за сваляне на аудио дискове във всички популярни формати: MP3, WAV, WMA, OGG Vorbis, VQF, APE с отлично изходно качество и висока скорост на сваляне. Вграденият CD плеър позволява CD пистите да бъдат прослушани предварително.

### 3. РАДИОРАЗПРЪСКВАНЕ

В България все още съществува аналогово радио, работещо с амплитудна модулация (AM), и такова с честотна, което се използва за висококачествено радиоразпръскване в обхвата на УКВ диапазон или FM. С напредването на технологиите, цифровизацията изисква използването на:

Цифровото радиоразпръскване (Digital Audio Broadcasting, DAB) е технология за безжично предаване на цифров сигнал с електромагнитни вълни в радиообхвата.

Като основни предимства при цифровото радиоразпръскване могат да се посочат: по-високо качество на звука в сравнение с FM-радиопредаването, заедно със звука могат да се

предават текст, изображения и други данни повече, отколкото чрез системата RDS - (Radio Data System - е стандарт, предназначен за предаване на информационни съобщения по каналите за FM-радиоразпръскване в диапазона на УКВ. Намира най-широко приложение в автомобилните радиоприемници, за изобразяване върху техните дисплеи на информация, която съпътства радиопредаванията на радиостанциите), слаби радиосмущения не влияят на звука, по-икономично използване на честотния обхват, мощността на предавателя може да бъде намалена от 10 до 100 пъти.

Цифрови радиа се предават по регионални и национални кабелни и сателитни оператори в България, за разлика от аналоговите.

DAB има и своите недостатъци: В случай на недостатъчна мощност на сигнала при аналоговото излъчване се появяват смущения, докато при цифровото транслацията пропада напълно, забавяне на звука поради времето, необходимо за обработка на цифровия сигнал.

Цифрова телевизия е едно от съвременните приложения на ЦОС, като съществуват три стандарта: DVB-T/T2 – наземна, DVB-C/C2 – кабелна и DVB-S/S2 – сателитна телевизия. Трите стандарта се различават по: вида на използваната модулация, а при DVB-C/C2 отсъства процесът конволюционно кодиране от кодирането на канала поради по-голямата шумозащитеност на канала за връзка.

## ИЗВОДИ

Въз основа на направения обзор, могат да се посочат следните насоки за бъдещо развитие на цифровата обработка на аудио сигнали:

- намаляване на изкривяванията на говора при цифровата обработка и предаването на гласова информация, подобряване ефективността на базовите станции (по-малък брой и по-безопасни за човешкото здраве) при GSM комуникациите;
- създаването на аудио файлови формати, съчетаващи в себе си малко време за обработка на данните, компресия без загуба на информация и високо качество на звука както и усъвършенстване на съществуващите и прилагани ефекти;
- предаването на по-голям брой радиа с почечен услуги в по-тясна честотна лента.

## REFERENCES

Boyanov, B. (2003). *Digital Signal Processing. Part 1*. Printing office "Bryack PRINT" AD, Varna.

Ivanov, R. (1999). *Digital processing of one-dimensional signals*. Second edited edition, print "Gabrovo Print" Ltd.