

Једно решење евалуационог радног оквира за дистрибуирано испитивање аудио система

An Evaluation Framework for Distributed Testing of Audio Systems

Милица Тадић, Јелена Ковачевић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Студијски програм – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО

Кратак садржај – У овом раду предложен је евалуациони радни оквир који омогућава издвајање процеса евалуације из процеса извршавања тестова за уграђене аудио системе. Предложена архитектура подржава дистрибуирано извршавање компоненти система, као и дистрибуирано извршавање тестова, чиме се обезбеђују већа флексибилност и скалабилност. Предложени радни оквир доприноси лакој интеграцији различитих метода евалуације, као и независно проширивање и прилагођавање процеса тестирања и евалуације.

Кључне речи: дигитална обрада сигнала, аутоматизовано испитивање, ДСП платформа

Abstract – *This paper presents an evaluation framework that enables the separation of the evaluation process from the test execution process for embedded audio systems. The proposed architecture supports the distributed execution of system components and test cases, providing improved flexibility and scalability. The proposed framework facilitates the integration of different evaluation methods while enabling the independent extension and customization of the testing and evaluation processes.*

Keywords: *digital signal processing, automated testing, DSP platform*

НАПОМЕНА: Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је била др Јелена Ковачевић, ванр. проф.

1. УВОД

Током последњих неколико деценија дошло је до убрзаног развоја аудио технологија, па је репродукција аудио и видео садржаја, поред телевизора и кућних биоскопа, данас присутна у бројним уређајима потрошачке електронике. Савремени аудио системи, који укључују аудио/видео пријемнике и линијске звучнике (енгл. *soundbar*), засновани су на уграђеним системима, односно на наменским процесорима као што су дигитални сигнал процесори (енгл. *Digital Signal Processor, DSP*) или ARM (енгл. *Advanced RISC Machines*) платформе. Развој ових система праћен је изазовима као што су обрада сигнала у реалном времену, ограничени хардверски ресурси, као и

потреба за прилагођавањем софтвера различитим хардверским платформама. Омогућавање извршавања софтвера на већем броју платформи доприноси широј примени производа и његовој конкурентности на тржишту [1].

Да би аудио производи успешно прошли процес сертификације и били спремни за пласирање на тржиште, неопходно је спроводити њихову верификацију током читавог животног циклуса развоја. Процес верификације разликује се између различитих аудио технологија, као што су *Dolby Atmos*, *DTS:X* и *MPEG-H Audio*, у погледу врсте тестова, начина евалуације резултата и расположивом окружењу за тестирање.

Иако постоје бројна решења за аутоматизацију испитивања софтвера, она углавном нису прилагођена специфичностима испитивања аудио технологија, док су индустријска решења најчешће затвореног карактера и недоступна широј употреби. Због тога је развијен униформни оквир за испитивање аудио система који обезбеђује јединствено окружење за аутоматизовано извршавање тестова [2].

У оквиру овог рада развијен је евалуациони радни оквир као проширење постојећег униформног оквира, са циљем раздвајања процеса извршавања тестова од евалуације резултата и омогућавања једноставније интеграције различитих процедура евалуације у јединствено окружење за испитивање аудио система.

2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

Савремени аудио системи подржавају различите технологије просторног звука, укључујући канално оријентисане декодере, технологије засноване на објектима, виртуализаторе и додатне механизме завршне обраде. Засновани су на DSP и/или ARM платформама, на којима се извршава фирмвер који реализује комплетан ланац за обраду звука. Поред саме обраде сигнала, ови системи подржавају различите аудио интерфејсе и конфигурације звучника за репродукцију окружујућег (енгл. *surround*) и просторног (енгл. *surround*) звука.

Сложеност аудио технологија, ланца обраде звука и великог броја подржаних интерфејса и конфигурација чини процес испитивања једним од кључних изазова у развоју оваквих система [3]. Испитивање уграђених система сложено је због ограничене преносивости постојећих алата и потребе за извршавањем великог

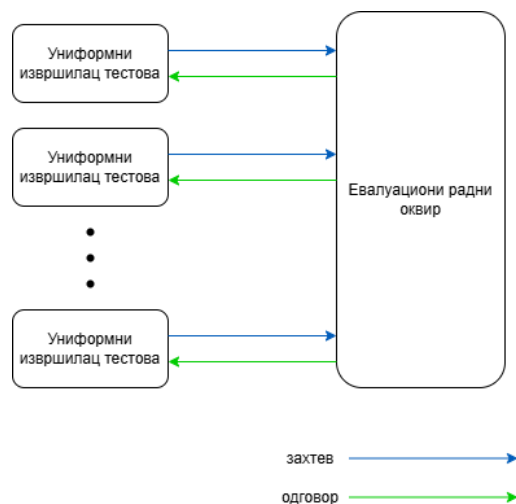
броја, често стотина или хиљада, тестних случајева током различитих фаза развоја. Испитивање се спроводи током целокупног животног циклуса производа, од провере компоненти система до сертификације и регресионих тестирања након надоградње фирмвера.

За развој уграђеног софтвера специфичних аудио технологија користи се референтни пакет који садржи информације неопходне за имплементацију, интеграцију и верификацију. Извршавањем тестова добијају се резултати који захтевају евалуацију према дефинисаним критеријумима, одређеним у оквиру референтног пакета [2].

У имплементацији аутоматизованог тестирања често се користе радни оквири (енгл. *framework*) који омогућавају ефикасније управљање тестним процесима, већу поузданост тестирања и лакше одржавање тестних активности [4]. У системима за аутоматизацију испитивања често се примењују дистрибуирани модели који омогућавају ефикасније управљање великим бројем тестних случајева и различитим конфигурацијама система. Дистрибуирани системи састоје се од скупа независних компоненти које чине јединствен систем [5]. Један од најчешћих модела је клијент-сервер архитектура заснована на моделу захтев-одговор. Комуникација компоненти може се реализовати без успостављања трајне конекције или уз њено успостављање, најчешће коришћењем REST API (енгл. *Representational State Transfer Application Programming Interface*) интерфејса, заснованог на употреби HTTP (енгл. *Hypertext Transfer Protocol*) протокола и стандардизованих метода за размену података између компоненти система [6]. Може бити синхрона или асинхрона, у зависности од захтева система, при чему се за паралелну обраду и управљање задацима често користе нити. Један од основних приступа за постизање скалабилности у дистрибуираним системима је расподела задатака на више извршних јединица. Уместо обраде у оквиру једне компоненте система, они се могу поделити и извршавати паралелно на више процеса или рачунара [5].

3. КОНЦЕПТ РЕШЕЊА

Полазни систем представља униформни оквир за испитивање аудио система, који омогућава паралелно извршавање тестова на више станица за испитивање [2]. Евалуациони радни оквир је његово проширење и чини софтверску основу за управљање и извршавање процеса евалуације. Пројектован је као серверска компонента која комуницира са клијентом интегрисаним у униформни извршилац тестова. Комуникација између клијентске и серверске компоненте заснива се на моделу захтев-одговор, при чему клијент иницира процес евалуације, а сервер врши конфигурисање, покретање и праћење евалуације и након завршетка враћа резултате. Слика 1. приказује комуникацију између евалуационог радног оквира и више инстанци униформног извршиоца тестова.



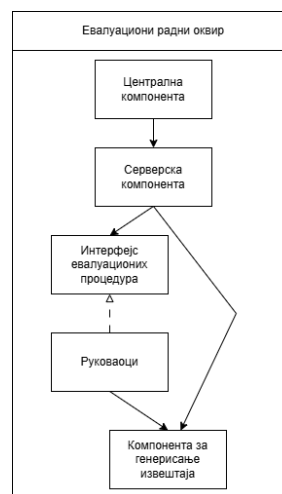
Слика 1. Комуникација између евалуационог радног оквира и више инстанци униформног извршиоца тестова

3.1. Архитектура система

Архитектура радног оквира чини пет целина:

1. Централна компонента,
2. Серверска компонента,
3. Спрега евалуационих процедура,
4. Руковаоци,
5. Компонента за генерисање извештаја.

Централна компонента је улазна тачка система и задужена је за његово покретање и иницијализацију серверске компоненте. Серверска компонента прихвата захтеве клијената, управља процесом евалуације и обезбеђује јединствену комуникациону спрегу према клијентима. Спрега евалуационих процедура дефинише начин имплементације, интеграције и извршавања евалуационих процедура кроз одговарајуће руковаоце. Руковаоци реализују конкретну логику евалуације специфичну за појединачне аудио технологије, чиме је омогућен униформни начин интеграције различитих евалуационих процедура у систем. Компонента за генерисање извештаја евидентира ток и резултате



Слика 2. Архитектура евалуационог радног оквира

процеса евалуације. Слика 2. приказује архитектуру евалуационог радног оквира.

Систем подржава локални и удаљени режим рада, који се разликују по месту извршавања клијентске и серверске компоненте. У локалном режиму обе компоненте се извршавају на истом рачунару, док се у удаљеном режиму извршавају на различитим рачунарима и комуницирају путем TCP/IP (енгл. *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) протокола. Овакав приступ омогућава дистрибуирано извршавање тестова уз централизовану евалуацију. Процес евалуације реализује се у оквиру једне сесије која обухвата све кораке од иницијализације до добијања резултата. Комуникација између клијента и сервера заснива се на REST API спреги, при чему клијент шаље метаподатке дефинисане у JSON (енгл. *JavaScript Object Notation*) конфигурационој датотеци, док се аудио подаци преузимају из заједнички доступног складишта.

3.2. Ток извршавања процеса евалуације

Процес евалуације започиње успостављањем сесије између клијента и сервера, при чему клијент прослеђује метаподатке неопходне за креирање одговарајућег руковоаца. Затим следи пренос података, након чега клијент покреће евалуацију слањем идентификатора захтева. Сервер прослеђује захтев руковоацу који извршава евалуацију и враћа резултате клијенту. Пренос података и евалуација могу се понављати у оквиру исте сесије, која се по завршетку затвара. Ток процеса приказан је на слици 3. где зелене стрелице означавају кораке који се понављају за сваки тест, а црне кораке који се извршавају једном по сесији.



Слика 3. Ток извршавања процеса евалуације

4. ПРОГРАМСКО РЕШЕЊЕ

Решење је имплементирано у програмском језику *Python*. Претходно описане функционалне целине реализоване су као скуп међусобно повезаних модула. Извршавање започиње иницијализацијом серверске компоненте на основу конфигурационих параметара који одређују режим рада и ниво логовања. Серверска компонента реализована је коришћењем *FastAPI* радног оквира и покреће се помоћу *Uvicorn ASGI* сервера са 20 паралелних процеса, чиме се омогућава

конкурентна обрада захтева. Функционалност система организована је кроз скуп крајњих тачака (енгл. *endpoints*) које реализују појединачне кораке процеса евалуације и управљање сесијом. Табела 1. приказује имплементиране крајње тачке и њихове намене.

Спрега евалуационих процедура дефинише методе потребне за припрему података и извршавање евалуације. Руковаоци имплементирају ову спрегу за појединачне аудио технологије и реализују одговарајућу логику евалуације. Резултат евалуације добија се поређењем излазног и референтног вектора уз помоћ одговарајућег алата за евалуацију, након чега се утврђује испуњеност дефинисаног критеријума. Компонента за генерисање извештаја задужена је за евидентирање и форматирање резултата евалуације.

Табела 1. Имплементиране крајње тачке и њихове намене

Крајња тачка	Намена
POST /connect	Успостављање сесије
POST /transfer	Покретање преноса података
POST /evaluate	Покретање евалуације
POST /disconnect	Затварање сесије

5. МЕРЕЊА И РЕЗУЛТАТИ

За потребе испитивања евалуационог радног оквира коришћена је DSP развојна платформа CRD49844 са DSP CS49844 и RT-AG аудио картица које приказује слика 4. [7, 8]. Централна компонента система је DSP развојна платформа која је задужена за обраду дигиталног звука. RT-AG аудио картица користи се за прослеђивање улазног аудио сигнала од рачунара ка уређају који се испитује, као и за снимање излазног аудио сигнала са уређаја који се испитује.



Слика 4. CRD49844 DSP развојна платформа и RT-AG аудио картица

5.1. Методологија мерења

У циљу процене перформанси предложеног решења, спроведена су мерења укупног времена извршавања тестног плана и евалуације резултата, означеног са T . Поред укупног времена, у референтној конфигурацији су мерене и временске компоненте T_m (време извршавања тестова) и T_e (време евалуације), које су коришћене као основа за анализу осталих конфигурација. Испитивање је спроведено у четири конфигурације система ради поређења утицаја издвајања процеса евалуације, мрежне комуникације и

Табела 2. Преглед кључних карактеристика посматраних конфигурација

Конфигурација	Инстанце униформног извршиоца	Евалуација	Режим рада	Мрежна комуникација	Паралелно извршавање тестова
1 (референтна)	1	у оквиру униформног извршиоца тестова	локални	не	не
2	1	евалуациони радни оквир	локални	не	не
3	1	евалуациони радни оквир	удаљени	да	не
4	2	евалуациони радни оквир	комбинација локалног и удаљеног	да	да

паралелног извршавања тестова на укупно време извршавања. Укупно време извршавања сваке конфигурације, као и време извршавања тестова и време евалуације, одређени су на основу једног мерења. Табела 2. даје преглед кључних карактеристика сваке конфигурације.

За потребе мерења коришћене су две аудио технологије, означене као Технологија А и Технологија Б, са 1266 односно 225 тестних случајева. Тестни случајеви покривају различите функционалности и сценарије обраде звука дефинисане у референтним пакетима технологија. Иако обе технологије користе сличан процес извршавања тестова, евалуација њихових резултата заснива се на различитим алатима и критеријумима, чиме се омогућава анализа флексибилности интеграције различитих евалуационих процедура у оквиру система.

5.2. Резултати и анализа

Анализа је започета референтном конфигурацијом, у којој су независно мерени време извршавања тестова T_t и време евалуације T_e . Укупно време извршавања дефинисано је као њихов збир (1):

$$T = T_t + T_e \quad (1)$$

Табела 3. приказује резултате мерења у референтној конфигурацији система.

Табела 3. Резултати мерења у референтној конфигурацији система

Метрика	Технологија А	Технологија Б
T_t – време извршавања тестова	24.09	1.3
T_e – време евалуације резултата	0.98	0.02
T – укупно време извршавања	25.07	1.32

На основу приказаних резултата може се уочити да време извршавања тестова T_t доминира у укупном

времену извршавања система T , док време евалуације T_e у мањој мери утиче на укупно време T .

Табела 4. приказује укупно време извршавања у свим конфигурацијама за технологију А, док Табела 5. приказује одговарајуће резултате за Технологију Б.

Табела 4. Укупно време извршавања у свим конфигурацијама за Технологију А

Конфигурација	Опис	Укупно време извршавања T (изражено у сатима) за Технологију А
1	референтна	25.07
2	локални режим	24.12
3	удаљени режим	24.04
4	комбиновани локални и удаљени режим	12.3

Табела 5. Укупно време извршавања у свим конфигурацијама за Технологију Б

Конфигурација	Опис	Укупно време извршавања T (изражено у сатима) за Технологију Б
1	референтна	1.3
2	локални режим	1.29
3	удаљени режим	1.3
4	комбиновани локални и удаљени режим	0.66

Поређењем резултата може се уочити да издвајање процеса евалуације (конфигурација 2) доводи до смањења укупног времена извршавања T , јер се евалуација извршава паралелно са извршавањем тестова. Остварено убрзање зависи од односа времена извршавања тестова T_t и времена евалуације T_e , при чему је ефекат израженији код Технологије А због дужег времена евалуације. Анализом конфигурације са удаљеним извршавањем (конфигурација 3) може се

уочити да је утицај мрежне комуникације на укупно време извршавања занемарљив, јер одступања у укупном времену извршавања у односу на конфигурацију 2 не прелазе 1%. Највеће убрзање остварено је у конфигурацији 4, где је применом дисрибуираног извршавања тестни план подељен на две инстанце, што је довело до приближно двоструког смањења времена извршавања.

Резултати показују да предложена архитектура омогућава ефикасно раздвајање извршавања тестова и евалуације, уз добру скалабилност у случају дистрибуираног извршавања, при чему евалуациони радни оквир не представља уско грло система.

6. ЗАКЉУЧАК

У оквиру овог рада предложен је евалуациони радни оквир интегрисан са постојећим униформним оквиром, који омогућава раздвајање извршавања тестова и евалуације, као и једноставну интеграцију различитих евалуационих процедура.

Резултати потврђују да издвајање евалуације и њено извршавање на удаљеној машини имају мали утицај на укупно време, док паралелно извршавање тестова значајно убрзава систем. Остварено убрзање зависи од односа времена извршавања тестова и евалуације.

Добијени резултати потврђују да предложени приступ представља добру основу за аутоматизацију процеса евалуације у испитивању уграђених аудио система. Будући развој може бити усмерен ка испитивању већег броја аудио технологија, анализи рада система у окружењима са већим бројем извршних чворова и додатном унапређењу механизма за расподелу и извршавање тестова.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] P. Liggesmeyer and M. Trapp, "Trends in Embedded Software Engineering," in IEEE Software, vol. 26, no. 3, pp. 19-25, May-June 2009.
- [2] T. Novković, "Metodologija razvoja uniformnog okvira za ispitivanje ugrađenih audio sistema," PhD. dissertation, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia, 2024.
- [3] J. Kovacevic, U. Radujko, M. Djukic, T. Novkovic, „Smart Multi-Agent Framework for Automated Audio Testing," Elektronika Ir Elektrotehnika, т. 29(1), pp. 59-68, 2023.
- [4] E. Dustin, J. Rashka, J. Paul, "Automated Software Testing: Introduction, Management, and Performance," Addison-Wesley Professional, 2008.
- [5] A. S. Tanenbaum and M. van Steen, "Distributed Systems: Principles and Paradigms," 2nd ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson Prentice Hall, 2007.
- [6] R. T. Fielding, "Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures," Doctoral dissertation, University of California, Irvine, 2000.
- [7] C. L. Corporation, „CS49834/44 description page," <https://www.cirrus.com/products/cs49834-44/> (приступљено 15.6.2026.)

- [8] N. Pekez, N. Kaprocki and J. Kovačević, "Implementation of PC Application for Controlling RT-AG External Sound Card," 2018 Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC), Novi Sad, Serbia, 2018.

Кратка биографија:



Милица Тадић рођена је у Сремској Митровици 2000. године. Дипломски рад на Факултету техничких наука из области Рачунарска техника и рачунарске комуникације одбранила је 2023. године.
Контакт: milica.tadic@uns.ac.rs



Јелена Ковачевић рођена је у Београду 1973. године. Докторску дисертацију на Факултету техничких наука из области Рачунарска техника и рачунарске комуникације одбранила је 2010. године.
Контакт: jelena.kovacevic@uns.ac.rs