

ПЛОВДИВСКИ УНИВЕРСИТЕТ „ПАИСИЙ ХИЛЕНДАРСКИ“



ФАКУЛТЕТ ПО МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА

КАТЕДРА „СОФТУЕРНИ ТЕХНОЛОГИИ“



СТЕФАН ДИМИТРОВ СТАВРЕВ

**ПРОЕКТИРАНЕ И АРХИТЕКТУРА НА СОФТУЕРНИ СИСТЕМИ
ЗА ИГРОВО-БАЗИРАНО ОБУЧЕНИЕ**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд
за присъждане на образователната и научна степен „доктор“
в област на висше образование 4. Природни науки, математика и информатика;
професионално направление 4.6 Информатика и компютърни науки;
докторска програма Информатика

Научни ръководители: проф. д-р Тодорка Терзиева
 проф. д-р Ангел Голев

гр. Пловдив

2021 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на разширено заседание на катедра „Софтуерни технологии” при Факултета по математика и информатика на ПУ „Паисий Хилендарски”.

Дисертационният труд „Проектиране и архитектура на софтуерни системи за игрово-базирано обучение ” се състои от 127 страници. Към работата са добавени приноси на дисертационния труд, декларация за оригиналност и перспективи за бъдещо развитие. Списъкът с реферираните източници се състои от 172 заглавия, от които 2 на кирилица и 112 на латиница, 58 интернет адреса.

Списъкът на авторските публикации по дисертационния труд се състои от 5 заглавия. От посочените публикации 3 са в международни научни списания (SJR 0.15), 2 в международни конференции (1 WoS).

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 26.01.2022 г. от 11:00 ч. в заседателната зала на новата сграда на ПУ „Паисий Хилендарски”.

Материалите по защитата са на разположение за интересуващите се в секретариата на ФМИ, нова сграда на ПУ, каб. 330 всеки работен ден от 8:30 до 17:00 часа.

Автор: Стефан Димитров Ставрев

Заглавие: „Проектиране и архитектура на софтуерни системи за игрово-базирано обучение“

Университетско издателство „Паисий Хилендарски“

Тираж: 20 бр.

Пловдив, 2021 г.

СЪДЪРЖАНИЕ

Обща характеристика на дисертационния труд.....	5
Актуалност на темата	5
Цели и задачи на дисертационния труд.....	5
Структура и обем на дисертационния труд.....	6
Кратко съдържание на дисертационния труд.....	7
Глава 1. Проучване на досегашни постижения в сферата на сериозните игри (СИ)	7
1.1 Класически софтуерни архитектури в контекста на видео игрите	7
1.2 Съвременни разработки и архитектури на сериозни игри.....	8
1.3 Класификация на сериозните игри според тяхното предназначение.....	9
1.4 Класификация на сериозните игри, според платформата	10
1.5 Обобщение на Глава 1	11
Глава 2. Архитектури на софтуер за игрово-базирано обучение	11
2.1 DiAS – входно-независима разпределена архитектура за сериозни игри	11
2.2 Същински модули (Core modules).....	12
2.3 Архитектура на интеграционните модули.....	13
2.4 Анализ и сравнение на технологии, подходящи за реализиране на архитектурния подход DiAS	15
2.5 Референтен дизайн.....	16
2.6 Предимства на DiAS с предложената референтна интеграционна архитектура спрямо съществуващи подходи	17
2.7 Обобщение на архитектурата DiAS	18
Глава 3. Приложения на входно-независимата разпределена архитектура за сериозни игри (DiAS).....	18
3.1 Виртуална платформа <i>На улицата</i>	18
3.2 FluorMat – интерактивен под за образователни игри	20
3.3 SpacePort Futuristic Development – сериозна стратегическа игра за симулация на космодрум на Марс	22
3.4 Обобщение на реализираните игрово-базирани софтуерни решения.....	23
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	24
ОСНОВНИ ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	25
ПЕРСПЕКТИВИ	25
АПРОБАЦИЯ НА РЕЗУЛТАТИТЕ.....	26
ПУБЛИКАЦИИ НА АВТОРА	27
БЛАГОДАРНОСТИ.....	27
БИБЛИОГРАФИЯ	28

- ЕИП, Естествен потребителски интерфейс – от англ. *Natural User Interface*, NUI, това е интерфейс, невидим и неосезаем за потребителя, докато той се учи на все по-сложни интеракции
- Физически свят – този, който ние, хората обитаваме
- Виртуален свят – измислена, компютърно-генерирана среда за симулация. Обикновено е населена от един или повече потребители, наречени *аватари*
- Аватар – това е проекция, репрезентация на даден потребител във виртуален свят. Аватарите могат да са текстови, дву- или триизмерни. В този научен труд използваме понятието „аватар“, за да обозначим триизмерен графичен модел, представляващ потребителя или играча
- Геймплей – начинът, по който една видео игра бива играна. Терминът включва в себе си съвкупността от всички игрови механики, заложи в фазите на проектиране и разработка на играта.
- КВС, кадъра в секунда – от англ. FPS [Fps, 2021], *frames per second*, броят на кадрите, които се генерират за една секунда.
- Игра пясъчник – от англ. *sandbox game*, това е стил проектиране на видео игра, в която на играча са поставени минимални ограничения, което му позволява свободно да обикаля и променя виртуалния свят по свое усмотрение. За разлика от игрите, базирани на прогреса на игровата среда, игрите тип *пясъчник* наблягат на свободно движение и избор на последователността, в която конкретни задачи да бъдат изпълнени. Този стил е известен и още под името *Отворен свят*.
- Архитектура, ориентирана към услуги (АОУ) – от англ. *Service-oriented architecture* – архитектурен подход, при който различни софтуерни функционалности се доставят при поискване под формата на външна за приложението услуга.
- Тънък клиент – софтуерно приложение с минимална програмна логика, което не съхранява данни локално.
- БДП – безопасност на движение по пътищата
- МПС – моторни превозни средства
- Софтуер за игрово-базирано обучение – синоним на термина сериозни игри
- ОП – оперативна памет
- ОС – операционна система
- СИ – сериозни игри
- HUD – heads-up display – проекционен индикатор, част от графичния потребителски интерфейс
- CAD – computer aided design, проектиране, подпомогнато от компютър

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на темата

Игрово-базираното обучение е все по-актуална тема в съвременния свят. В своята същност, то представлява обучение, посредством игра и игрови елементи. Традиционната парадигма на преподаване – в училища, детски градини и университети, бива постепенно изместена от новите методи, които предлагат игрово-базираното обучение. Такива методи са: използването на дигитални и нагледни инструменти – като интерактивни дъски, таблети, очила за виртуална реалност, мобилни приложения, както и съвременни информационни технологии за игрово обучение. Начинът на преподаване и придобиване на нови знания и умения също се измества – от присъствено към дистанционно обучение [Gaydarova, 2020] и такова във виртуална среда [Chonkov & Tsvetanov, 2018]. Съществува специален клон на игрово-базираното обучение, който се занимава с разработването и интегрирането на програмни продукти за специфичните цели на този вид преподаване. Този клон носи наименованието *сериозни игри*. Този вид игри се наричат сериозни, защото позволяват да се тренира в дадена област. Това е една от причините през последните години сериозните игри да придобият голям научен интерес. За разлика от традиционните развлекателни игри, архитектурата и проектирането на сериозни игри са плът на множество научни проучвания от академичната общност. Разработките в тази област се стремят да дефинират как се структурират, разработват и разширяват сериозни игри.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Основната цел на дисертационния труд е да се проектира и разработи софтуерна архитектура за изграждане на системи за игрово-базирано обучение чрез прилагане на съвременни информационни технологии. За постигане на целта на дисертационния труд са формулирани следните **задачи**:

1. Проучване и анализ на актуални тенденции при изграждане на системи за игрово-базирано обучение (сериозни игри).
 - a. Да се проучат и анализират съвременни архитектурни подходи за разработка на сериозни игри;
 - b. Да се направи изследване на различни видове сериозни игри с акцент върху функционалното им предназначение;
 - c. Да се направи изследване на различни видове сериозни игри с акцент върху използваната софтуерна платформа и периферни устройства.
2. Да се проектира и разработи софтуерна архитектура за изграждане на системи за игрово-базирано обучение чрез съвременни технологии.
3. Да се разработят и апробират приложения, които реализират предложената софтуерна архитектура в контекста на игрово-базираното обучение.

СТРУКТУРА И ОБЕМ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Дисертационният труд се състои от увод, три глави, заключение, библиография, списък на авторските публикации по темата и апробация на резултатите, и е в обем от 127 страници. Към работата са добавени приноси на дисертационния труд, декларация за оригиналност и перспективи за бъдещо развитие. Списъкът с реферираните източници се състои от 172 заглавия, от които 2 на кирилица и 112 на латиница, 58 интернет адреса.

Уводът представлява кратко въведение в изследваната проблемна област. Тук се прави кратък преглед на състоянието на софтуера за игрово-базирано обучение. Посочват се основни термини в проблематиката, предизвикателства и нерешени проблеми.

В **първа** глава е направен преглед на състоянието на научноизследователски области, имащи отношение към темата на дисертационния труд. Основно внимание се обръща на класическите софтуерни архитектури и такива, имащи отношение при изграждането на системи за игрово-базирано обучение. Разгледани са основните понятия и характеристики на най-разпространените и широко използваните от тях. Разгледани са и съвременни архитектурни подходи при проектиране и разработка на софтуер за игрово-базирано обучение от няколко гледни точки. На базата на направения обзор и анализ са синтезирани основните тенденции в тези разработки.

Във **втора** глава е представено ядрото на изследването, като е предложена разпределена софтуерна архитектура (DiAS) за изграждане на игрово-базиран софтуер. Предложената архитектура е модулна, като са описани отделните модули и взаимовръзката между тях. Представената архитектура позволява използването на един, два или всички описани модули при проектирането и изграждането на конкретна сериозна игра, в зависимост от целите. Вzeti са под внимание тенденциите, изведени в първа глава. Предложен е и референтен подход, с конкретно-избрани софтуерни инструменти и решения.

В **трета** глава са описани три конкретни имплементации на софтуерни системи за игрово базирано обучение, изградени по архитектурния модел DiAS. Описани са и конкретните решения, взети по времето на проектиране на посочените сериозни игрови платформи. Това са: образователната платформа за БДП „На улицата“, системата за интерактивен под „FluurMat“, както и симулаторът за изграждане на космодрум „Spaceport“.

В **Заключението** се представят в обобщен вид постигнатите резултати, получени по време на дисертационното изследване. Посочва се къде са представени и публикувани резултатите от дисертационния труд.

Разглеждат се и перспективи за бъдещо развитие на представената работа.

Списъкът на **авторските публикации** по дисертационния труд се състои от 5 заглавия. От посочените публикации 2 са в международни научни списания (SJR 0.15), 3 в международни конференции (1 WoS).

В **апробацията** на резултатите са изброени международни и национални конференции, на които са докладвани някои от резултатите в дисертационния труд. Също така са

отбелязани научните проекти, по които са изследвани и получени част от резултатите в дисертационния труд.

КРАТКО СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Глава 1. ПРОУЧВАНЕ НА ДОСЕГАШНИ ПОСТИЖЕНИЯ В СФЕРАТА НА СЕРИОЗНИТЕ ИГРИ (СИ)

В тази глава са разгледани класическите архитектури от софтуерното инженерство. Тези класически архитектури са представени и разгледани в контекста на видео игрите. Разгледани са и съвременни подходи и разработки, които целят да решат една или друга конкретна задача в сферата на сериозните игри. Проучването на текущи разработки и архитектури е направено от две гледни точки – от страна на функционалното им предназначение и от страна на използваната софтуерна платформа и периферни устройства. В края на Глава 1 е направено обобщение на разгледаните подходи, като са посочени техни предимства и недостатъци. Направеният анализ помага за сформирането на основните няколко проблема на текущите разработки. В резултат на анализа са синтезирани и основни тенденции в разработката на сериозни игри и са предложени конкретни задачи за решаването на съществуващите проблеми от настоящия дисертационен труд.

1.1 Класически софтуерни архитектури в контекста на видео игрите

Разгледани са класическите архитектури, приложими в контекста на сериозните игри. Тези разгледани архитектури имат своите корени в сферата на информатиката, поради тясната свързаност на двете области.

Многостепенна архитектура (N-tier)

Многостепенната архитектура е наречена така, тъй като е проектирана да включва различни степени на абстракция. Различните степени могат да включват: обработка на данни, организация на данни, съхранение на данни, представяне и др. Степените обикновено са разделени както логически, така и физически. Това означава, че различните степени могат да се разполагат на различни физически устройства или клъстери, с цел избягване споделянето на ресурси между различните степени.

Разгледани са типични представители на многостепенната архитектура, а именно: монолитна архитектура (1-tier), клиент-сървър (2-tier), както и разпределената многостепенна архитектура (3 и повече степени). Посочени са примери за разработени игри, използващи посочените архитектурни подходи.

АОУ – архитектура, ориентирана към услуги

В тази подглава са разгледани три подхода на софтуерни архитектури, ориентирани към услуги, като са посочени и конкретни примери. Разгледани са 3 подхода: игрите под форма на услуга, бек-енд като услуга и безсървърни услуги. Посочени са конкретни

примери, както и предимства и недостатъци на текущите подходи. От разгледаните примери прави впечатление, че тези подходи са особено подходящи за реализацията на архитектура, изградена от множество малки програми (наречени микро-услуги).

Компонентно-базирана архитектура, CBA

Основната идея при този архитектурен подход е разработването и повторното използване на базови компоненти, които са като тухли при изграждането на сериозна игра. Основен модел в този подход е използването на Game Object Model, GOM [Gregory, 2009].

Съществуват два стила на реализиране на игровия обектен модел – обектно-центриран и свойствено-центриран. Обектно-центрираният подход е много близък до типичния обектно-ориентиран подход в програмирането. Той представя всеки логически игров обект като съвкупност от атрибути и функционалности. Съществуват няколко реализации на този подход, разгледани подробно в дисертационния труд. Свойствено-центриран подход представя игровите обекти, като се фокусира върху техните свойства, вместо да се акцентира върху представяне поведението на обектите. Налага предварително да дефинираме необходимите свойства с цел представяне състоянието на игровия обект по време на изпълнение. В следствие, игровият обект може да се разглежда просто като списък от свойства, всяко от които може да е от скаларен или сложен тип.

Изводи

Многостепенната архитектура ни позволява да разпределим логиката на една СИ, като отделим определени елементи от геймплея или група от модули на отделно хардуерно устройство. Това позволява по-изчислително интензивните модули да бъдат скалирани. Логиката на СИ трябва да може да поддържа такова разделение. Значими са и архитектурите, ориентирани към услуги – те правят възможен достъп до информация в реално време.

1.2 Съвременни разработки и архитектури на сериозни игри

В тази подглава са разгледани различни видове компютърни архитектури, които се използват за проектирането и разработката на съвременни сериозни видео игри. Важно е да се отбележи, че тази сфера е обект на активно изследване от множество учени [Cai, 2017], [Carvalho, 2015], [Der Vegt, 2016], [Sobke & Streicher, 2015], [Buijs-Spanjers, 2018], [Dawley & Dede, 2014], [Rollings & Adams, 2003], [Chan, 2017], [Lemus, 2015], [Reynolds, 2017], [Snaphaan, 2018], [Paranthaman, 2018], [Mahmood, 2007], [Mestadi, 2018], [Costa, 2016]. Архитектурните подходи на разгледаните автори и разработки са насочени в три основни направления: използването на типични компоненти за построяването на сериозни игри; използването на разпределена архитектура; ефективно използване на структури от данни и взаимозаменяемост.

Разпределената архитектура насочва към използването на услуги за доставяне на отдалечено съдържание. Такива са разработките [Carvalho, 2014], [Carvalho, 2015].

Подходът за използването на услуги не е нов в информатиката, но все още е сравнително рядко прилаган в сферата на сериозните игри [Sprott & Wilkes, 2004], [Van Der Aalst, 2007]. Другото направление – преизползването на компоненти – е добре застъпено в разработките на [Der Vegt, 2016]. Пример за ефективно използване на структури от данни и взаимозаменяемост може да се забележи в [Dekkers, 2013].

1.3 Класификация на сериозните игри според тяхното предназначение

Разгледани са сериозните игри, класифицирани по тяхното предназначение. Направен е обзор на различни разработки на СИ, поставени в една или повече категории. Направено е обобщение и анализ на общите им черти, тенденции и архитектурни подходи за изграждането им, както и използваните технологии за създаването им.

Разгледани са типични представители на СИ в сферата на здравеопазването, а именно: [Balaam, 2011], [Anderson, 2007], [Chan, 2017], [Rollings & Adams, 2003], [NUI, 2021], [Alankus, 2011], [Hondori, 2013], [Lemus, 2015], [Reynolds, 2017], [Snapheen, 2018], [Hoffmann & Wilson, 2018], Crusaders [Crusaders, 2021], Re-Mission [Remision, 2021]. След направен анализ, са синтезирани две тенденции. Едната е използване на разпределена архитектура, като някои от авторите използват отделни микро-услуги за съхранение и обработка на данните. Използването на разпределена архитектура се обуславя с възможността на по-задълбочен и навременен анализ на получените данни: за навиците, поведението и състоянието на лекуваните пациенти. Другата тенденция е използването на мобилни устройства и уеб-базирани разработки като средство за техните сериозни игри.

Разгледани са представители в сферата на симулаторите, като тук са анализирани по-подробно разработките SimSketch [Van Joolingen, 2017] и Second Life [Dos Santos, 2014], [Mitgutsch, 2011], [Ruan & Deng, 2009]. Направени са изводи, че този тип разработки се нуждаят от по-висока изчислителна мощ, поради което не се забелязват СИ, целящи ползване под уеб-браузър или мобилни устройства.

Следващите разгледани СИ са предназначени за ползване от кадети във военната сфера. Разгледани са разработките: *America's army* [America's army, 2021], *SanTrain* [Dobrovsky, 2017], *TC3Sim* [Hussain & Coleman, 2014], както и летателният тренажор *Microsoft Flight Simulator* [Flight simulator, 2021]. Като тенденции се забелязват използването на игрови двигатели при разработката, шлемове за виртуална реалност и различни видове периферни сензори.

Следващата категория са образователни СИ – такива, при които основната цел е да се научат играчите на специфични знания и умения. Обикновено в тази категория попадат игри, предназначени за ранна детска възраст – за деца от 6 до 12-годишна възраст. Тук са разгледани разработките [Darwesh, 2016], [Stubbe, 2017], [Odyssey, 2021], [Trooster, 2017], [Marsh, 2014]. Като тенденции от разгледаните примери могат да се посочат използването на игрови двигатели, на уеб-базирани технологии, както и използването на мобилни целеви устройства. Използваните архитектури са основно 2 вида: монолитни и клиент-сървърни.

СИ в мениджмънта е следващата разгледана категория. Тук са анализирани разработките [Leonov, 2016], [Haendler & Neumann, 2019], [Seibert & Vis, 2012], [Varini, 2017], [Borshchev & Filippov, 2004], [Strecker & Rosenthal, 2016], [Slimani, 2014], [Thurm & Cate, 2011], [COCO, 2021], [Mandell, 2008], [True office, 2021], [ECONOMIA, 2021], [CityOne, 2021]. Направени са изводи, че много малка част от тези програмни продукти използват типични инструменти за разработката на видео игри. Също така, предпочитаната софтуерна архитектура е клиент-сървърната, като са използвани или разработени онлайн уеб-базирани платформи за целите на обучението по мениджмънт.

В последната категория са разгледани социални игри – такива, при които е наблегнато над социалното взаимодействие между играчите, научаването на социални умения, сътрудничество и работа в екип. Разгледани са подробно следните разработки: [Bellotti, 2014], [Bourazeri, 2017], [Diaz, 2013]. Игрите в тази сфера са разнообразни като платформи и архитектури. В някои от тях са използвани публичните програмни интерфейси (API) на социални мрежи. Разгледаните разработки са с клиент-сървърна архитектура.

Изводи за класификацията според предназначението

На база разгледаните разработки в сферата на сериозните игри може да се забележи, че преобладаващата архитектура е клиент-сървърна. В същото време, подходите за разработка се различават. Някои автори разглеждат социалния аспект като интеракция между няколко човека в мрежа, докато други предпочитат да разглеждат въздействието на отделния индивид над обществото. С широкото разпространение и популярност на социалните платформи изглежда логично да се разработват игри, които да са базирани или да си взаимодействат със социални мрежи. Кооперацията между играчите за постигането на обща цел е идея, заимствана от традиционните видео-игри от развлекателната индустрия.

1.4 Класификация на сериозните игри, според платформата

Според целевата платформата, СИ са разделени и разгледани в 4 категории. Това са:

- Игри на настолен компютър, като са разгледани *Virtual pink dolphins* [Chandrasekaran, 2017], [Cai, 2017], [School, 2017]
- Мобилни игри, като са разгледани [Marfisi-Schottman, 2016], [Rouillard, 2014], [Paranthaman, 2018], [Paulo & Castro, 2016], [Xin, 2009], [Hatzigiannakoglou & Kampouraki, 2016], [BLITAB, 2021], [InsideOne, 2021], [Jeffery, 2013], [Feng & Cai, 2017], [Molen, 2017], [Paulo & Castro, 2016], [Chua, 2017]
- Уеб-базирани игри (в браузър), като са разгледани авторите на [Buijs-Spanjers, 2018], [Gulec, 2019], [Lotfi, 2015],
- Конзолни игри

Изводи

От първата категория преобладават едностепенни СИ (инсталират и се играят на една машина), като съществуват и примери за такива с модулна архитектура. Мобилните

сериозни игри се характеризират с използването на АОУ и клиент-сървърна архитектура, макар повечето автори да не посочват изрично използвания подход на разработка. СИ в браузър са широко достъпни, но техният геймплей е ограничен до манипулацията на текстове и изображения. Предпочитаната архитектура за разработка е клиент-сървърната. Що се касае до игрите на конзолни устройства, не се забелязват значими примери в този сектор [Connolly, 2012].

1.5 Обобщение на Глава 1

В тази секция се обобщават основните тенденции и принципи за проектирането на игрова архитектура на сериозни игри. Това са игри с архитектура:

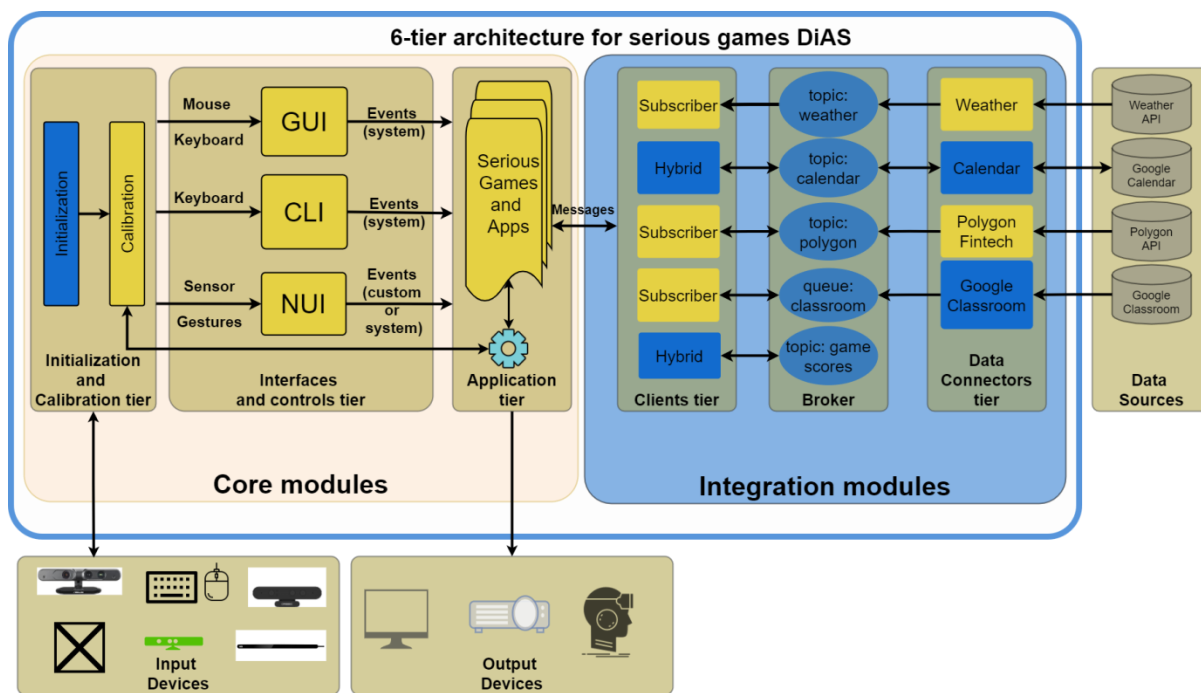
- Ориентирана към услуги - АОУ
- Модулна и разпределена
- Платформено - и устройствено - независима.

Прави впечатление, че множество от разгледаните автори не са посочили изрично какъв архитектурен подход са използвали за проектиране и последваща разработка на техните сериозни игри. Малко са примерите, където са посочени както използваната работна рамка, така и архитектурния подход. Това е проблем, тъй като бъдещи автори и разработчици не могат директно да се възползват от резултатите на своите колеги и трябва да правят собствени проучвания и разработки. Ето защо, една от задачите на настоящия дисертационен труд е да се предложи цялостна архитектура за изграждане на софтуерни системи за игрово-базирано обучение.

Глава 2. АРХИТЕКТУРИ НА СОФТУЕР ЗА ИГРОВО-БАЗИРАНО ОБУЧЕНИЕ

2.1 DiAS – входно-независима разпределена архитектура за сериозни игри

В тази глава е проектиран и описан архитектурен модел за разработка на софтуер за игрово-базирано обучение. Вzeti са под внимание основните тенденции и резултати от анализа, направени в Глава 1.



Фигура 1: Разпределена архитектура за сериозни игри DiAS

Схематично самата архитектура е представена на Фиг.1. Тя носи наименованието DiAS – абр. от английски език на Distributed input-independent Architecture for Serious games (разпределена независима архитектура за сериозни игри). Тази архитектура е независима от входните си устройства, като са представени два начина, по които тази независимост може да бъде постигната. В дисертационния труд се дискутира как сериозните игри, разработени на база представената архитектура, могат да интегрират услуги от трети страни. Архитектурата е съставена от условно 2 типа модули – същински (core) модули и интеграционни модули. Дефинират се и няколко интерфейса за описание на архитектурата. Това са:

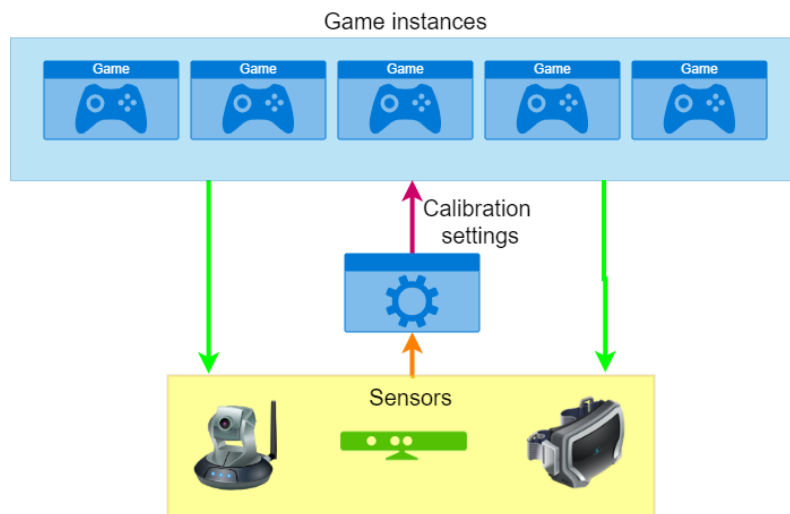
- [public interface IDiAS](#)
- [public interface IDiasControls](#)
- [public interface IGame](#) : IDiasControls
- [public interface IClient](#)
- [public interface IDataConnector](#)

Връзката между обособените модули и посочените по-горе интерфейси е подробно описана в дисертационния труд.

2.2 Същински модули (Core modules)

Инициализация и калибрация

Калибрацията на сензори често бива трудоемък и времеотнемащ процес. В предложената архитектура е направено усилие да се сведе до минимум времето за калибрация, като е създадена техника, наречена *споделяне на калибрационни настройки*. Това е способ, който позволява калибрационните настройки на сензор или група от сензори да бъдат споделяни и използвани от различни игри или различни игрови инстанции. Самите настройки е възможно да се запазят в локално хранилище (local storage) и по този начин могат да бъдат ползвани от друга игрови инстанции (Фиг. 2)



Фигура 2: Споделени калибрационни настройки

Комуникационни интерфейси

В дисертационния труд са разработени и описани 3 интерфейса за комуникация със системата:

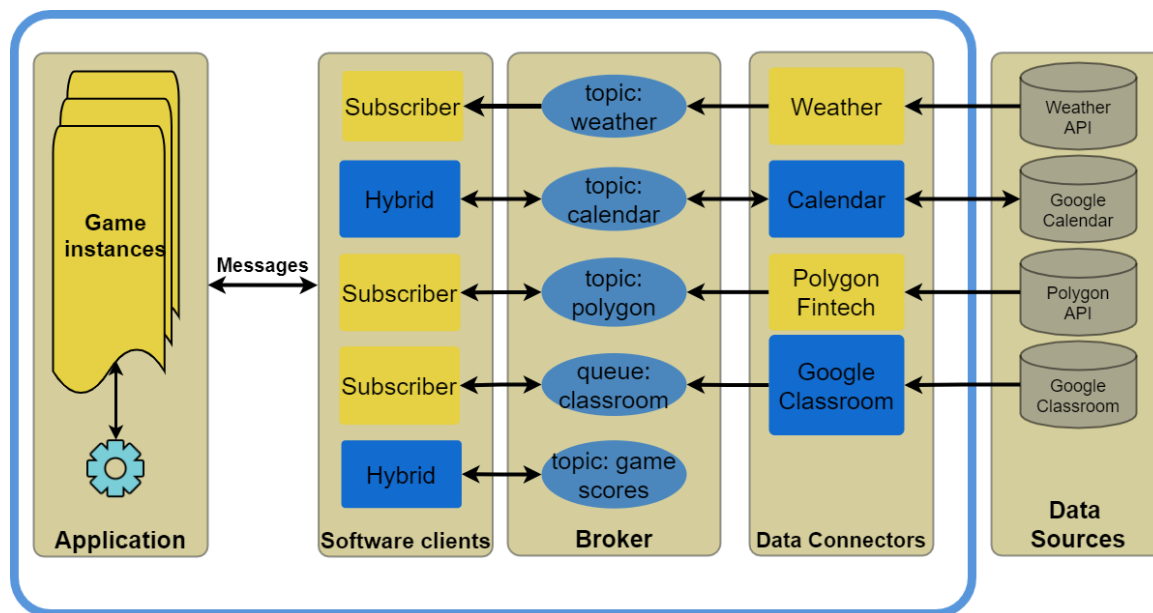
- Графичен потребителски интерфейс (ГПИ, GUI) - поредица от графични елементи, които се визуализират най-отгоре на екрана. Използват се за комуникация на играча с игровата инстанция
- Команден интерфейс (КИ, CLI) - позволява на потребител да въвежда предефинирани команди през командния ред по време на игра. Използва се за диагностика и системен дебъг.
- Естествен потребителски интерфейс (ЕПИ, NUI) - способ за взаимодействие с игровата логика посредством разпознаване и обработка на жестове от страна на потребителите.

Всеки един от посочените интерфейси е способ на потребител или играч да взаимодейства със системата или игровата логика. В дисертационния труд особено внимание е отделено на ЕПИ, тъй като с негова помощ се постига независимост от входните (сензорни устройства). Представени са 2 начина за превеждане на ЕПИ в съвместимост с настоящи и бъдещи разработки: като се генерират персонализирани събития (*custom events*) или като се извикват системни събития (напр. *mouseClick*, *touchDown*, *touchUp*) на ниво ОС. В модула с приложната степен е разположена самата игрова логика.

2.3 Архитектура на интеграционните модули

В тази подглава се разглежда предложеният архитектурен подход при разработката на интеграционни модули – обусловени от тенденцията за АОУ. Тези модули са отговорни

за събирането, филтрирането и доставянето на външни данни под формата на услуги. Подробна схема на тази част от архитектурния подход DiAS е представена на (Фиг. 3).



Фигура 3: Интеграционна 3-степенна архитектура за доставяне на външни услуги в игровите инстанции на DiAS

В центъра на интеграционната част от предложения архитектурен подход е разположен **брокер на съобщенията**. В среда, изградена от слабо-свързани модули, използването на брокер е добро решение, тъй като самият той добавя ниво на абстракция и позволява напълно асинхронна комуникация между модулите. Брокерът е също така системен компонент на средно ниво (middleware), отговорен за свързаността на една сериозна игра с външния свят. Брокерът предоставя няколко канала за комуникация: топици (topics), опашки и ексчейнджове.

Предимството от използването на брокер е, че информацията, която той пренасочва, може да бъде съхранена в самия брокер (под формата на кеш). Това премахва необходимостта за постоянна свързаност с интернет и високи скорости на връзката. От друга страна, за разлика от директно изпращане на заявки по HTML, повечето брокери използват по-бързи и ефективни протоколи за пренос на данните. Следващото предимство е, че използването на брокер за достъп до външна услуга не е блокиращо. Поради тези предимства, добавянето на брокер в архитектурния подход решава някои от интеграционните проблеми на АОУ.

Софтуерни клиенти (software clients) са модули от тип скриптове или програми. Те играят ролята на посредници между игровите инстанции и брокера. Те е възможно да бъдат само абонати (*subscribers*), само публикуващи (*publishers*) или хибридни (*hybrid*) – да са едновременно абонати за един тип данни и публикуващи за друг.

Конектори на данни (data connectors) са модули, базирани на концепцията за бизнес интеграционни шаблони [Hohpe & Woolf, 2004]. Те са отговорни за свързване към доставчика на данни през неговия публичен програмен интерфейс (API), обработката им в подходящ вид и изпращането към брокера. Източници на данни (data sources), от

своя страна, не са част от архитектурния модел DiAS, но са важен елемент от цялостната екосистема. Примери за такива са на Google calendar, Google Classroom, както и частни хранилища на данни.

2.4 Анализ и сравнение на технологии, подходящи за реализиране на архитектурния подход DiAS

В тази подглава е направен анализ, за целите на избиране подходящи софтуерни рамки и елементи за създаването на референтна архитектура.

Първо са проучени водещи игрови двигатели – софтуерни платформи или работни рамки, предназначени за автоматизиране процесите по разработка на видео игри за игрови конзоли, мобилни устройства или персонални компютри. Разгледани са примери за широко-използвани игрови двигатели в сферата на индустрията – Unity [Unity], Unreal Engine [Unreal Engine], Cryengine и Lumberyard, като са сравнени по: леснота за работа, заемани системни ресурси, поддържани целеви платформи и налични технически средства за работа с тях.

Всеки от разгледаните игрови двигатели притежава конкретно предимство пред останалите. Unity се характеризира с висока степен на портативност на разработените проекти към различни платформи. Unreal Engine и Cryengine – с високо ниво на визуален реализъм, осветление и вградени системи за изкуствен интелект на разработените проекти и игри. В Unreal разработчиците не е необходимо да разполагат със задълбочени знания в областта на програмирането, за да създадат видео игра. Това предимство прави Unreal с бърза степен на усвояване и го прави особено привлекателен към дизайнери, аниматори и визуални художници. Що се отнася до визуализиране на огромни терени и виртуални светове от тип пясъчник, безспорен фаворит е Cryengine. А за игри, свързани с множество играчи и обвързване с облачни услуги, водещ е Lumberyard.

За целите на настоящия дисертационен труд е от значение да се избере такъв игров двигател, който е лесно преносим за множество целеви платформи, не заема огромни системни ресурси и е в състояние игровото съдържание лесно да бъде интегрирано с външни услуги. На всички тези условия отговаря единствено Unity 3D. Също така, това е единственият двигател от разгледаните, който поддържа HTML като целева платформа и има добра поддръжка за мобилни устройства.

Направен е и анализ на брокери на съобщенията, на база следните критерии:

- Пропускливост на съобщения (брой на съобщения за ед. време)
- Ниско забавяне (*low latency*)
- Брой на поддържаните протоколи по подразбиране
- Брой на поддържаните характеристики по подразбиране
- Толеранс към разпадане на връзката и възстановяване на данните.
- Разширяемост

Разгледани са подробно следните брокери: ActiveMQ на Апаче [ActiveMQ1, 2021], Kafka [Kafka, 2021], RabbitMQ [RabbitMQ, 2021].

Направен е анализ и разглеждане на протоколи за пренос на съобщения, а именно: AMQP [Vinoski, 2006], MQTT, [MQTT, 2021] и STOMP [STOMP, 2021]. В следствие на анализа е избран един от тях за използване в референтния дизайн. Направен е и анализ на интеграционни технологии и рамки. Разгледани са няколко технологии, предоставящи работни рамки за интеграция на микроуслуги. Водещи при избора са насоките, поставени от [Hohpe & Woolf, 2004]. Сравнени са следните технологии: Microsoft BizTalk, IBM WebSphere и Apache Camel, които са популярни при интеграцията на различни бизнес приложения.

2.5 Референтен дизайн

Понятието *референтен дизайн* или *референтна архитектура* описва един конкретен избор на софтуерни модули, бази данни, операционни системи и компоненти, необходими за решаването на конкретна задача. В дисертационния труд е представена референтна архитектура, която според автора е подходяща в контекста на архитектурите на сериозни игри. Изискванията към търсения референтен дизайн са няколко:

- Архитектурата да е лека и незаемаща огромни ресурси, поради нискобюджетния хардуер, наличен в образователните институции.
- Използваните ОС и софтуерни модули да са широко достъпни и по възможност разходите за тяхното закупуване и интегриране да са минимални.
- Избраните софтуерни компоненти да са широко поддържани и документиранни.

За разработката на *приложната степен* от архитектурния подход DiAS могат да се използват изключително игровите двигатели. След направения анализ е избран Unity 3D, тъй като той предлага няколко предимства за постигане на конкретно-поставените цели на архитектурния ни подход. Тези предимства са именно: използване на минимален брой системни ресурси, възможност за инсталация на множество целеви платформи, поддръжка на компилация за уеб браузър, както и добра поддръжка на компилация за мобилни устройства.

Използването на игровия двигател Unity не се изчерпва само с реализацията на игрови нива. Този игров двигател може да бъде използван за направата на модулите за *инициализация и калибрация* на сензорите и задаване на *интерфейсните модули* за манипулация на игровите нива.

Следващият собствен модул е този за *използваните интерфейси*. За реализацията на ГПИ, е предложено използването на системни събития: *mouseClick* или *touchDown / touchUp* събития. За реализацията на КИ се използва системната конзола, като нейното включване се осъществява посредством редакцията на системен файл. За реализацията на ЕПИ, е възможно да използва два подхода за комуникация с игровите инстанции – извикване на системни събития, подобно на ГПИ или генериране на собствени (*custom*) събития. Използването на системните събития е предпочитан вариант при реализацията

на референтната архитектура, тъй като това запазва обратната съвместимост на жестовия вход с вече разработени игрови модули от приложния слой и не се налага повторно кодиране на тяхната игрова логика.

2.6 Предимства на DiAS с предложената референтна интеграционна архитектура спрямо съществуващи подходи

В тази подглава се посочват основните предимства на предложения архитектурен подход DiAS.

Първо, това е новаторски подход, който се базира на технологичните тенденции от последните години в контекста на игровата разработка – ориентация към доставяне на външно съдържание под формата на услуги. Асинхронната, неблокираща същност на брокера на съобщения спомага игровото съдържание на конкретна сериозна игра да бъде обогатено с данни в реално време, без това доставяне на данни да възпрепятства нормалния игрови цикъл на играта. Използването на брокер има още едно предимство – той играе ролята на буфер на данни, като по този начин се повишава надеждността на цялата система.

Второ, архитектурата е разпределена, като определени компоненти от нея могат да бъдат отделени на собствен хардуер, като по този начин се постигнат хоризонтално или вертикално скалиране. Този подход е добре познат в сферата на развлекателните игри, но доскоро остава не дотам реализиран в тази на сериозните и образователните такива. Съпоставена с класическите подходи, DiAS има следните предимства. В сравнение с монолитната архитектура, при която игровата логика, засичането на потребителския вход и четенето и писането на данни са локални, тук е налице разпределена архитектура, при която всеки един от тези компоненти може да бъде отделен на отделна физическа машина. В сравнение с клиент-сървърния подход, където е налице един централен сървър, тук е възможно да имам множество сървъри (източници на данни), както и няколко агрегатора (брокери) на данни, преди тези данни да бъдат подадени към игровите инстанции. Това спестява изчислителен ресурс на игровите инстанции и позволява самите те да бъдат разположени на нискобюджетен хардуер.

Трето, предложената архитектура може да бъде реализирана както с игрови двигатели, така и с инструменти на по-ниско ниво на разработка. Игровите двигатели, от своя страна, заедно с екосистемата от готови модули, които пазарът им предоставя, обуславят по-бързата разработка и прототипиране на нови софтуерни решения за игрово-базирано обучение.

Четвърто, архитектурата е независима от входно-изходните си устройства, което позволява използването на един или повече интерфейси за управление при реализация на конкретни СИ.

Пето предимство е взаимозаменяемостта на сензорите – ако даден сензор спре да се предлага на пазара, е възможно замяната му с друг, без да се правят архитектурни промени или промени в имплементацията.

2.7 Обобщение на архитектурата DiAS

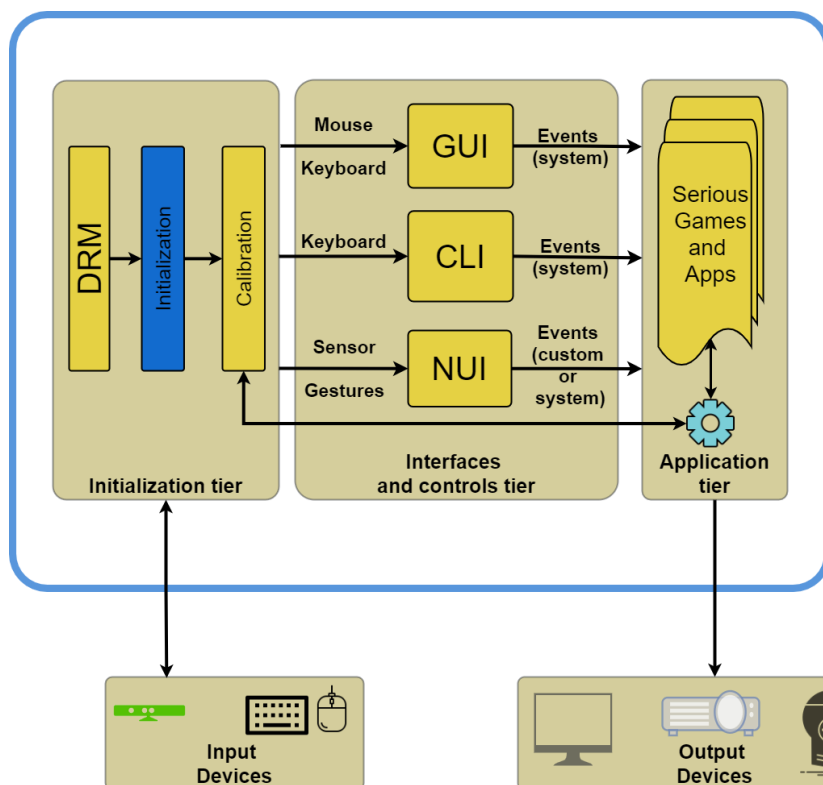
Представена е 6-степенна архитектура за разработката на сериозни игри, състояща се от 2 групи модули: собствени (инициализиращ, интерфейсен и приложен) и интеграционни, състояща се от: конектори към източниците на данни, брокер(и) и софтуерни клиенти. Собствените модули се грижат за реализиране на основните характеристики на архитектурата, а интеграционни модули – за надеждното доставяне на данни под формата на услуги в сериозната игра. Използването на брокер, който да поеме обема от съобщения, улеснява достъпа и надеждността на необходимата информация. Всяка степен от така представената архитектура е възможно да бъде заменена от друга подобна технология, в зависимост от изискванията на сериозната игра и специфичните цели, към които една сериозна игра се стреми.

Глава 3. ПРИЛОЖЕНИЯ НА ВХОДНО-НЕЗАВИСИМАТА РАЗПРЕДЕЛЕНА АРХИТЕКТУРА ЗА СЕРИОЗНИ ИГРИ (DIAS)

В тази глава са разгледани няколко приложения – сериозни игри, които са отделни имплементации на идеите от входно-независимата разпределена архитектура DiAS. Тези сериозни игри реализират един или повече аспекта на представената архитектура. Разгледани са следните 3 конкретни реализации на архитектурата DiAS:

3.1 Виртуална платформа *На улицата*

Главната цел при разработването на играта „На улицата“ е да се демонстрира как една виртуална среда може да бъде използвана за обучение и трениране на полезни навици, правила и умения у малки деца за безопасното им движение в близост до улица или при пресичане на пътното платно. В разработката си също така показваме, че обучението в една виртуална среда, каквато е играта „На улицата“, се приема добре от учениците и те могат с лекота да управляват аватара си посредством ЕПИ.



Фигура 4: Използвани DiAS модули при реализацията на образователната платформа „На улицата“

Архитектурният подход при реализацията на тази образователна платформа използва множество от модулите на DiAS (Фиг. 4). Поради спецификата при разработката на образователната платформа „На улицата“ се налага имплементацията на основния интерфейс IDiAS да бъде разширена с функционалност за управление на средства за защита на авторските права (от англ. Digital rights management, DRM).



Фигура 5: Потребителски интерфейс и пояснителни бележки на игровите елементи

Визуалният стил, който е избран, не е реалистичен, а изглежда по-скоро анимационен. За оценка на общото представяне на децата е разработена точкова система. Всеки път, когато ученикът извършва действия, които са безопасни и подходящи, тези усилия биват наградени с положителни точки. Опасното поведение се санкционира, като се отнемат точки. В тази реализация са проектирани и имплементирани 10 игрови нива, с различни нива на трудност. Избраните визуални игрови елементи: аватар, лента с прогрес, събрани точки, предупредителни знаци и пътепоказатели са представени на Фиг.5.

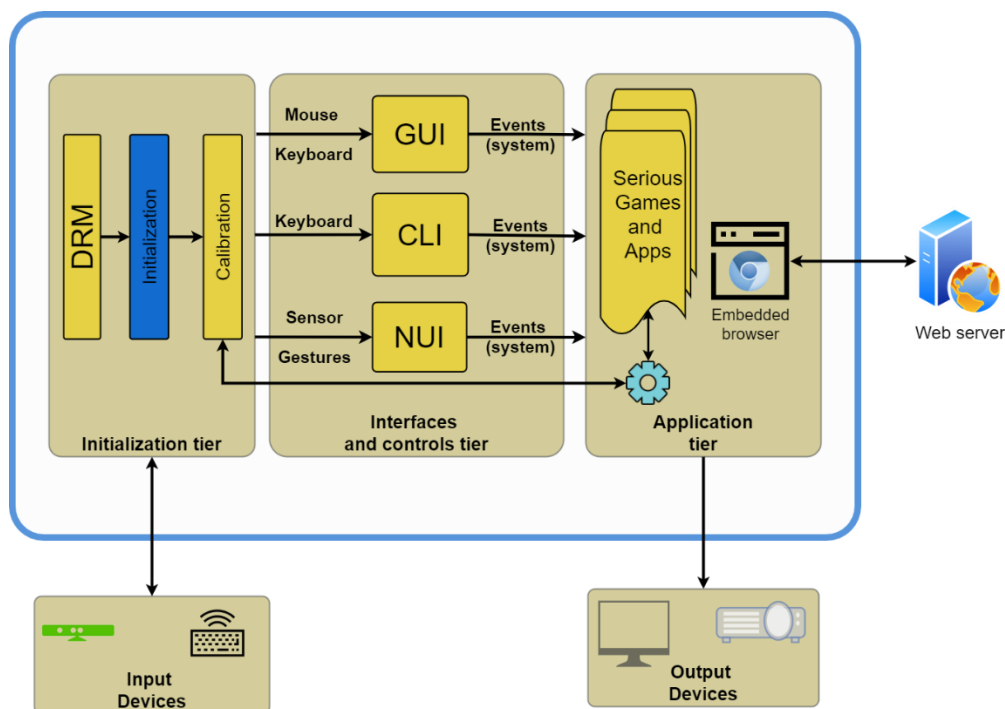
Възраст (години)	Пол (М/Ж)	Контрол на аватара (лесно/трудно)	Контрол на курсора на мишката (лесно/трудно)	Общо точки (1–100)	Успешно преминаване (80+ точки)
6	М	Трудно	Трудно	86	Да
6	Ж	Трудно	Трудно	73	Не
6	Ж	Трудно	Трудно	100	Да
7	М	Трудно	Трудно	96	Да
7	Ж	Лесно	Лесно	83	Да
7	М	Трудно	Лесно	90	Да
8	М	Трудно	Трудно	84	Да
9	Ж	Лесно	Лесно	100	Да
10	М	Лесно	Лесно	100	Да
10	Ж	Лесно	Лесно	96	Да

Таблица 1: Леснота на ползване на играта „На улицата“

Сред някои от образователните институции, в които е инсталирана играта, беше проведена и анкета за леснотата на ползване на системата. Таблица 1 са посочени обобщените резултати от проучването. От нея е видно, че по-малките деца изпитват трудност да се движат и завъртат по едно и също време. При по-възрастните участници се забелязва, че те по-лесно се завъртат, докато се движат. Този проблем е решен в последвалата доработка – чрез добавяне на шлем за виртуална реалност (Oculus Rift).

3.2 FluorMat – интерактивен под за образователни игри

В този подраздел на дисертационния труд се разглежда още една конкретна реализация на разпределената архитектура DiAS – FluorMat [Stavrev, 2019]. Това е интерактивен под, създаден като платформа за сериозни видео игри. FluorMat е комбинирана хардуерна и софтуерна система, която позволява играенето на сериозни игри на пода. Състои се от – мини-компютър, късофокусен проектор и сензор за движение. Като такъв, FluorMat поддържа различни сензори за засичане на вход от потребителите. Подробна архитектурна схема при реализацията на този продукт е представена на Фиг. 6.



Фигура 6: Архитектура на интерактивния под FluorMat

При тази разработка отново е разширена архитектурата с модул за управление на интелектуалната собственост (DRM). За програмната реализация са използвани голяма част от публичните интерфейси, дефинирани за архитектурата DiAS.

Реализирани са следните сериозни игри

Abra-Cad-Algebra е сериозна игра, която учи алгебра по нов и вълнуващ начин. В нея процедурно се генерират сравнително прости равенства – с два члена. Преди началото на играта се конфигурира начинът, по който се генерират тези равенства – кои операции са позволени (събиране, изваждане, умножение и деление), дали има времево ограничение и т.н. По този начин, играта *Abra-Cad-Algebra* е възможно да бъде играна на множество сесии с различна аудитория в една класна стая. За да играят, децата избират един от 4 възможни отговора, като стъпват на правилния според тях отговор.

Настъпни къртицата е друга реализирана сериозна игра и е адаптация на класическата аркадна игра „Удари къртицата“. В тази игра за платформата FluorMat, къртиците се появяват от произволни къртичини, с илюзията, че излизат от самия под. Добавени са няколко типа къртици, в ролята на игрови противници. Настъпването на всеки тип къртица носи на играча различен брой точки.

Сериозната игра ***Скрити обекти*** обучава на наблюдателност и тренира рефлексите на младежите. В нея, на учениците се представя басейн с процедурно-генерирани разхвърлени обекти. За да играят, на играчите се показва списък с търсените обекти в текущото ниво – играчите трябва да стъпят върху всички търсени обекти. Скоростта на реакция и сътрудничеството между играчите са ключови за получаването на максимален брой точки.

Сериозната игра *Летищна кула* дава на играчите възможност да влязат в ролята на ръководители на въздушно движение на летищна кула, като координират излитащите и кацащите полети и пренасочват самолетите към пистите и терминалите. Това е сериозна игра, която спомага за развитие на общуването и координацията между отделните играчи. За разлика от останалите разработени игри, които са достъпни локално, *Летищна кула* се играе през вградения във FluorMat уеб-браузър и е разположена на отдалечен сървър (Фиг. 6).

В края на тази подглава са направени следните изводи:

- Платформата за интерактивен под FluorMat предлага на играчите геймплей, който е независим от входните устройства. Игрите и приложенията, заредени от платформата, позволяват интеракции както с традиционни входни устройства (мишка и клавиатура), така и със сензори, посредством засичане и разпознаване на жестове, направени от играчите.
- Платформата позволява нов начин на взаимодействие със съществуващи сериозни игри и приложения, като добавя възможност за едновременна обработка на множество събития за докосване. Това позволява дори игри, първоначално проектирани за един играч, да бъдат играни от повече участници.
- Платформата позволява зареждането както на собствени (native) приложения и сериозни игри, така и на такива, намиращи се на отдалечен сървър. Това е възможно поради факта, че платформата притежава вграден уеб-браузър. С негова помощ могат да се играят практически всякакви онлайн игри върху интерактивния под. По този начин не е необходимо учителите и разработчиците на сериозни образователни игри постоянно да разработват нови такива, а да преизползват вече създадените.

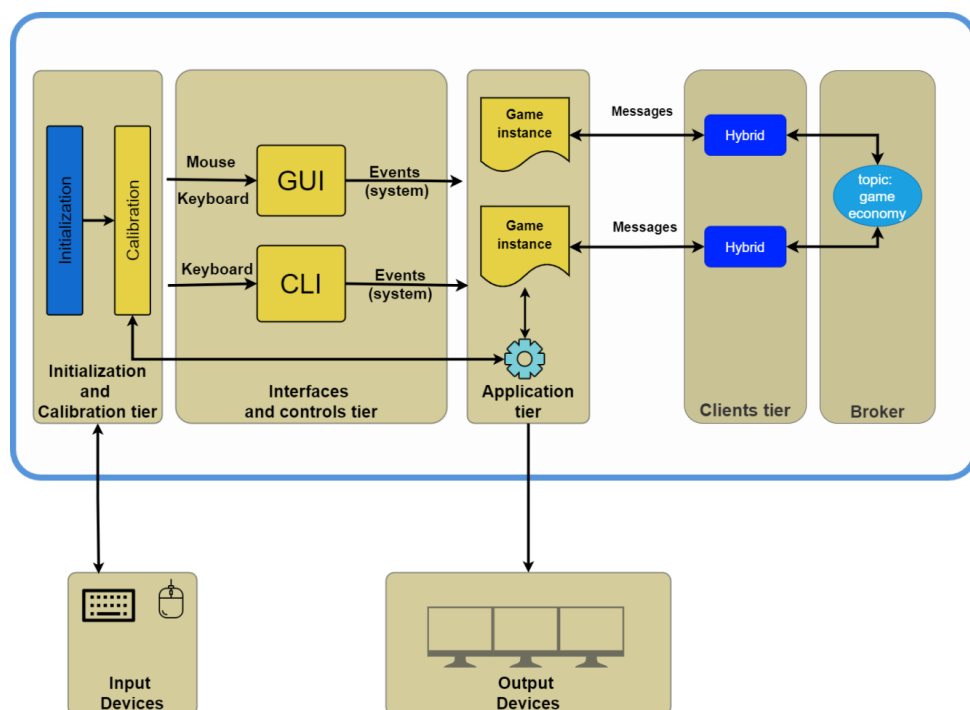
3.3 SpacePort Futuristic Development – сериозна стратегическа игра за симулация на космодрум на Марс

Тази програмна реализация представлява симулатор на космодрум на планетата Марс и е от тип *стратегия в реално време* (Фиг. 7).

За тази сериозна игра е използвана отново архитектурата DiAS, като са реализирани множество модули от разпределената архитектура. Единият модул е този за калибрация на входните устройства. Използвани са и топографски данни [GIS, 2021] с цел по-реалистично представяне повърхността на червената планета. Този модул позволява да се зареди всяка една топографска карта, представена в heightmap формат [Heightmap, 2021]. По този начин симулаторът позволява използването на терени, на които физическите проучвания и прототипиране биха били трудно реализуеми.

Другият реализиран модул е този с игровите нива. Всяко ниво представлява отделно предизвикателство, което трябва да бъде постигнато посредством игровите инструменти. Всяко ниво е собствен контейнер и е независимо от останалите. Това позволява добавянето на нови игрови нива, без да е необходима промяна в кода на играта

(Фиг. 7). Голяма част и от игровата икономика е реализирана под формата на външни услуги. Например, добиването на минерали в играта е външна услуга, която се намира на отдалечен сървър. Играчът прави заявка за добив на минерали към съответния модул. Този модул, от своя страна, изпраща заявката към брокер на съобщения, който се намира във вътрешната инфраструктура на играта. Брокерът на съобщения подава заявката към конектора на данни. Конекторът на данни изпраща заявката до услугата, която управлява цялата игрова икономика. Това е децентрализирана облачна система, обслужваща всички игрови инстанции. Това разделение позволява да се правят паралелни симулации, като се споделя общ икономически ресурс.



Фигура 7: Архитектура на сериозната игра SpacePort

Сериозната игра SpacePort е разработена за участие в международното състезание **Space apps challenge 2016**, организирано от N.A.S.A. Играта е номинирана за глобален финалист в категорията си.

3.4 Обобщение на реализираните игрово-базирани софтуерни решения

В тази глава са разгледани няколко конкретни реализации на разпределената архитектура за сериозни игри DiAS. С тази глава се покриват следните приложни приноси на автора:

1. Създадена е софтуерна платформа за игрово-базирано обучение по БДП, интегрирана в над 50 учебни заведения на територията на Република България.
2. Създадена е софтуерна платформа от тип *интерактивен под* за игрово-базирано обучение по множество учебни предмети. Платформата е

интегрирана в обучението на над 20 учебни заведения на територията на страната.

3. Създаден е симулатор от тип стратегия в реално време, при който могат да се симулират различни сценарии при конструиране на космодрум или друга подобна база.

И в трите разгледани реализации на софтуерната архитектура DiAS са използвани основните тенденции при софтуерните разработки, а именно: АОУ, компонентно-базирано проектиране на игровите обекти и системи за разпределен контрол, независими от входните устройства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Глава 1. е направено задълбочено проучване на актуалните тенденции при изграждане на системи за игрово-базирано обучение. Акцентите на изследването са насочени в две посоки – съвременни софтуерни архитектурни подходи и използвани технологии и средства за реализиране на различните функционални възможности на игровите приложения. Можем да направим следните изводи:

- Тенденция за използване на игрови двигатели (особено на Unity 3D) като инструмент за разработка на сериозните игри за всякакви видове устройства;
- Предимство при използването на игрови двигатели е високата наличност на готови, разработени от трети страни модули, които лесно могат да се интегрират в една разработка;
- Третата тенденция, която забелязваме, е използването на външни услуги в основния геймплей на сериозни игри.

Обобщавайки горните 3 тенденции, е проектирана и разработена игрова архитектура на сериозни игри, която е:

- Ориентирана към услуги - АОУ
- Модулна и разпределена
- Платформено- и устройствено-независима.

Като следваме тези принципи, стигнахме до извода, че сериозните игри трябва да са изградени от модули, да са с разпределена архитектура, ориентирани към услуги от трети източници и лесно разширяеми. Доразвиваме тази теза и предлагаме нов архитектурен подход за разработката на сериозни игри. Тази нова архитектура позволява сериозните игри да са независими от входните си устройства, като предлагаме няколко начина, по които може да се постигне независимост.

Освен това е предложена възможност за добавяне на съдържание под формата на външни услуги в дадена сериозна игра. За интеграцията и доставянето на такива услуги предлагаме използването на брокери (опашки от съобщения) с подхода публикуване / абониране (publish / subscribe).

В Глава 3. са представени три конкретни имплементации на сериозни игри, които подкрепят и допълват предложената архитектура.

- Виртуална симулативна платформа „На улицата“
- FluorMat – интерактивен под за образователни игри
- SpacePort Futuristic Development – сериозна стратегическа игра за симулация на космодрум на Марс.

Разработените приложения са апробирани – в докладите на 3 международни и 3 национални научни конференции, както и с участието на автора в 4 научноизследователски проекта към НПД на ПУ. Проведена бе и анкета с цел събиране на обратна връзка на ползвателите на посочените програмни приложения.

ОСНОВНИ ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Основните приноси в дисертационния труд са:

- I. Извършен е анализ на класически софтуерни архитектурни подходи при реализацията на системи за игрово-базирано обучение.
- II. Проектиран е модел на разпределена софтуерна архитектура на сериозни игри (DiAS).
- III. Разработена е входно-независима разпределена архитектура за сериозни игри.
- IV. Разработени и апробирани са софтуерни приложения, имплементиращи предложената архитектура.

Връзките между приносите, задачите, мястото на описание в дисертационния труд и направените публикации са следните:

Принос	Задача	Публикация	Глава
I	1a, 1b, 1c	1), 2), 4)	1
II	2	4)	2
III	2	2), 4)	2
IV	3	1), 3), 5)	3

Таблица 2: Връзка между поставените задачи в дисертационния труд и постигнатите резултати в съответните научни публикации

ПЕРСПЕКТИВИ

Перспективи за бъдещото развитие на изследванията, представени в дисертационния труд са следните:

- Създаване на нови сериозни игри на база на настоящата архитектура.
- Реализация на всички споменати модули от DiAS в сериозна игра. Както видяхме, в посочените разработки са реализирани някои модули от предложения архитектурен подход. Ето защо една от насоките за бъдещо развитие ще е именно цялостната реализация на DiAS в проект, включващ игрово-базирано обучение.
- Провеждане на статистически изследвания за удобство на използване на естествения потребителски интерфейс, посредством жестове.
- Реализация на предложения архитектурен подход и в други области (например, в сферата на *интернет на нещата*).

АПРОБАЦИЯ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

1. Доклади на международни и национални конференции
 - 1) Stavrev, S. (2019). Fluorimat – a STEM based teaching platform. International conference "Automatics and Informatics'2019", Sofia, 03-04 October 2019.
 - 2) Stavrev, S., Terzieva, T., Golev, A. (2018). Application of the distributed architecture for serious games (DiAS) in the field of mathematics and education. Pamporovo, 2018
 - 3) Stavrev, S., Terzieva, T., Golev, A. (2018). Concepts for distributed input independent architecture for serious games. CBU International Conference (online presentation), September 2018.
 - 4) Stavrev, S. (2018). Modern educational methodologies with serious games, Vanguard scientific instruments in management, Ravda, 11-16 September 2018
 - 5) Stavrev, S. (2017). „Изследвания в областта на иновационни ИКТ с ориентация към бизнеса и обучението“, Форум Наука на ПУ, 24 февруари 2017, Хисаря, лектор
 - 6) Stavrev S., Terzieva T. (2015). Virtual environment simulator for educational safety crossing, Proceedings of the 11th Annual International Conference on Computer Science and Education in Computer Science (CSECS), June 4th to June 7th, 2015, Boston, MA, USA
2. Участие на автора в научни проекти
 - 1) Проект МУ21-ФМИ-007 (2021) към фонд "Научни изследвания" при ПУ: "Симбиоза между математиката и информатиката (СМИ във ФМИ)" – участник.
 - 2) Проект на МОН „Млади учени и постдокторанти“ (2020) при НПД към Пловдивския университет „Паисий Хилендарски“ - участник
 - 3) Проект МУ19-ФМИ-09 (2019) към НПД при ПУ: „Моделиране чрез математика и информатика и симбиозата им с ИКТ“ – участник.
 - 4) Проект ФП17-ФМИ-008 (2017-2018) към фонд "Научни изследвания" при ПУ: "Иновационни софтуерни инструменти и технологии с приложения в научни изследвания по математика, информатика и педагогика на обучението" – участник.

- 5) Проект СП17-ФМИ-011 (2017-2018) към фонд „Научни изследвания“ при ПУ: „Бизнес приложения и образователни технологии, базирани на съвременни ИКТ“ - участник.

ПУБЛИКАЦИИ НА АВТОРА

Междинни резултати от дисертационния труд са изложени в 5 публикации и са представени и в отчетите на 5 научноизследователски проекта, в които е участвал авторът.

- 1) Stavrev S., Terzieva T. (2015). Virtual environment simulator for educational safety crossing. Proceedings of the 11th Annual International Conference on Computer Science and Education in Computer Science (CSECS), June 4th to June 7th, 2015, Boston, MA, USA, pp. 92-98, ISSN 1313-8624
- 2) Stavrev, S., Terzieva, T., Golev, A. (2018). Integrating third-party services using brokers in the serious games' domain. TEM Journal, Volume 7, Issue 4, pp. 842-848, ISSN 2217-8309, DOI: 10.18421/TEM74-23, November 2018, <https://dx.doi.org/10.18421/TEM74-23>, SJR: 0.15
- 3) Stavrev, S., Terzieva, T., Golev, A. (2019). Some implementations of distributed architecture for developing video games. International Electronic Journal of Pure and Applied Mathematics, Volume 13, No. 1 2019, pp. 81-91, ISSN: 1314-0744, doi:10.12732/iej pam.v13i1.6, <http://www.acadpubl.eu/ap/iej pam/issues/201901301>
- 4) Stavrev, S., Terzieva, T., Golev, A. (2018) Concepts for distributed input independent architecture for serious games, CBU International Conference Proceedings 2018: Innovations in Science and Education, Prague, Czech Republic, Vol 6, (2018), Print ISSN 1805-997X, Online ISSN 1805-9961. pp. 1166-1172. (Web of Science), DOI: <https://doi.org/10.12955/cbup.v6.1310>, <https://ojs.journals.cz/index.php/CBUIC/article/view/1310/1852>
- 5) Stavrev, S. (2019). Fluormat – a STEM based teaching platform. International Conference "Automatics and Informatics'2019" Proceedings, 03-04 October 2019. pp. 147-150, ISSN 1313-1850

БЛАГОДАРНОСТИ

Издавам сърдечни благодарности към научните си ръководители проф. д-р Тодорка Терзиева и проф. д-р Ангел Голев за подкрепата и насоките при разработването на настоящия дисертационен труд. Също така искам да благодаря на моето семейство за мотивацията и подкрепата, която винаги са ми оказвали!

БИБЛИОГРАФИЯ

- [Alankus, 2011] Alankus, G., Proffitt, R., Kelleher, C., & Engsberg, J., Stroke therapy through motion-based games: a case study. *ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS)* 4, 2011, 1 (2011), 3, pp. 1-35, ISSN 1936-7228, doi: 10.1145/2039339.2039342
- [Anderson, 2007] Anderson, I., Maitland, J., Sherwood, S., Barkhuus, L., et al., Shakra: tracking and sharing daily activity levels with unaugmented mobile phones. *Mobile networks and applications*, 2007, 12 (2-3), pp. 185–199, ISSN 1572-8153, doi: 10.1007/s11036-007-0011-7
- [Balaam, 2011] Balaam, M., Rennick Egglestone, S., Fitzpatrick, G., Rodden, T., et al. Motivating mobility: designing for lived motivation in stroke rehabilitation. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2011, pp. 3073–3082, doi: 10.1145/1978942.1979397
- [Bellotti, 2014] Bellotti, F., Berta, R., De Gloria, A., A Social Serious Game Concept for Green, Fluid and Collaborative Driving. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2014, 289, pp. 163-170, doi: 10.1007/978-3-319-04370-8_15.
- [Borshchev & Filippov, 2004] Borshchev, A., & Filippov, A., From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools. The 22nd International Conference of the System Dynamics Society, July 25 - 29, 2004, Oxford, England
- [Bourazeri, 2017] Bourazeri, A., Pitt, J., Arnab, S., Enabling collective awareness of energy use via a social serious game. *EAI Endorsed Transactions on Game-Based Learning*, 2017, 13 (2017), doi: 10.4108/eai.27-12-2017.153510
- [Buijs-Spanjers, 2018] Buijs-Spanjers, K., Hegge, H., Jansen, C., Hoogendoorn, E., & de Rooij, S., A web-based serious game on delirium as an educational intervention for medical students: a randomized controlled trial (Preprint). *JMIR Serious Games*, 2018, 6 (4), doi: 10.2196/games.9886
- [Cai, 2017] Cai, Y., Chiew, R., Fan, L., Kwek, M.K., & Goei, S.L., The Virtual Pink Dolphins Project: An International Effort for Children with ASD in Special Needs Education, *Simulation and Serious Games for Education*, 2017, pp. 1-11, Springer Singapore, ISBN: 978-981-10-0860-3
- [Carvalho, 2014] Carvalho, M. B., Bellotti, F., Berta, R., De Gloria, A., Gazzarata, G., Hu, J., & Kickmeier-Rust, M., A case study on Service-Oriented Architecture for Serious Games, 2014, *Entertainment Computing*, doi: 10.1016/J.ENTCOM.2014.11.001
- [Carvalho, 2015] Carvalho, M. B., Bellotti, F., Hu, J., Hauge, J. B., Berta, R., De Gloria, A., & Rauterberg, M., Towards a service oriented architecture framework for educational serious games, 15th IEEE international conference on advanced learning technologies (ICALT2015), 2015.
- [Chan, 2017] Chan, R., Leung, C., Zhang, H., & Tao, X., Serious Game Design for Stroke Rehabilitation, *International Journal of Information Technology*, 2017, Vol. 23 No. 1 2017, ISSN: 2511-2104

- [Chandrasekaran, 2017] Chandrasekaran, I., Cai, P., Cai, Y., Chen, Y., and Wu, X., Simulation-Enabled Vocational Training for Heavy Crane Operations, *Simulation and Serious Games for Education*, 2017, pp. 47-59, Springer Singapore, ISBN: 978-981-10-0860-3
- [Chonkov & Tsvetanov, 2018] Chonkov, S., & Tsvetanov, K., Perspectives of e-learning and game based learning as methods for improving the language culture. Scientific Conference “Innovative ICT in Research and Education: Mathematics, Informatics and Information Technologies Proceedings, 29-30 November 2018, Pamporovo, Bulgaria, ISBN: 978-619-202-439-0
- [Chua, 2017] Chua, L., Goh, J., Nay, Z.T., Huang, L., Cai, Y., & Seah, R., ICT-Enabled Emotional Learning for Special Needs Education, *Simulation and Serious Games for Education*, 2017, pp. 29-45, Springer Singapore, ISBN: 978-981-10-0860-3
- [Connolly, 2012] Connolly, T. M., Boyle, E. A., MacArthur, E., Hainey, T., Boyle, J.M., A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Comput. Educ.*, 2012, 59(2), pp. 661–686
- [Costa, 2016] Costa, T. K. L., Machado, L. S., Valença, A. M. G., & Moraes, R. M., Architecture to portals of serious games and virtual environments with performance evaluation during sequences of activities. 2016 IEEE International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH), 2016, pp. 1-8, doi: 10.1109/SeGAH.2016.7586225.
- [Darwesh, 2016] Darwesh, A., Concepts Of Serious Game In Education, *International Journal Of Engineering And Computer Science*, 2016, Vol 4 (12), pp. 15229-15232, ISSN 2319-7242, doi: 10.18535/Ijecs/v4i12.25
- [Dawley& Dede, 2014] Dawley, L., & Dede, C., Situated learning in virtual worlds and immersive simulations. In J. M. Spector, M. D. Merrill, J. Elen, & M. J. Bishop (Eds.), 2014, *The Handbook of n Research for Educational Communications and Technology* (4th ed.), pp. 723–734
- [Dekkers, 2013] Dekkers, M., Asset Description Metadata Schema (ADMS), W3C Working Group, 2013, Retrieved 01.02.2021 from <http://www.w3.org/TR/vocab-adms/>
- [Dev Vegt, 2016] Der Vegt, W., Westera, W., Nyamsuren, E., Georgiev, A., & Ortiz, I.M., RAGE Architecture for Reusable Serious Gaming Technology Components, *International Journal of Computer Games Technology*, 2016, Volume 2016, Article ID 5680526, 10 pages, doi: [10.1155/2016/5680526](https://doi.org/10.1155/2016/5680526)
- [Diaz, 2013] Diaz, J., Lic, F., Lic, N., Design of a Social Serious Game to revalue the Argentinian aboriginal cultures, *IEEE Xplore*, 2013
- [Dobrovsky, 2017] Dobrovsky, A., Borghoff, U.M., & Hofmann, M., Applying and Augmenting Deep Reinforcement Learning in Serious Games through Interaction. *Periodica Polytechnica Electrical Engineering and Computer Science*, 2017, 61(2), pp.198, doi: [10.3311/ppee.10313](https://doi.org/10.3311/ppee.10313)
- [Dos Santos, 2014] Dos Santos, R., Second Life: game, simulator, or serious game? *Acta Scientiae*, 2014, 16, pp. 72-92

- [Feng & Cai, 2017] Feng, Y., & Cai, Y., A Gaze Tracking System for Children with Autism Spectrum Disorders, *Simulation and Serious Games for Education*, 2017, pp. 137-145, Springer Singapore, ISBN: 978-981-10-0860-3
- [Gaydarova, 2020] Gaydarova, M., Terzieva, T., & Rahnev, A., Teaching during distance learning – shared experience of Bulgarian teachers. *Education and Technologies Journal*, 2020, 11, pp. 7-14, doi: 10.26883/2010.201.1989.
- [Gregory, 2009] Gregory, J. *Game Engine Architecture*, 2009, Taylor & Francis, CRC Press, 2019, ISBN: 978-1-1380-3545-4
- [Gulec, 2019] Gulec, U., Yilmaz, M., Yalcin, A., O'Connor, R., & Clarke, P., CENGO: A Web-Based Serious Game to Increase the Programming Knowledge Levels of Computer Engineering Students, *Proceedings 26th European Conference, EuroSPI 2019*, Edinburgh, UK, September 18–20, 2019, ISBN 978-3-030-28004-8
- [Haendler & Neumann, 2019] Haendler, T., & Neumann, G., Serious Games for Software Refactoring. In: Becker, S., Bogicevic, I., Herzwurm, G. & Wagner, S. (Hrsg.), *Software Engineering and Software Management*, 2019, pp. 181-182, doi: [10.18420/se2019-58](https://doi.org/10.18420/se2019-58)
- [Hatzigiannakoglou & Kampouraki, 2016] Hatzigiannakoglou, P. D., & Kampouraki, M. T., "Learn Braille": A Serious Game Mobile App for sighted Braille Learners, *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 2016, 9(1), pp. 174-176, Department of Educational and Social Policy, University of Macedonia, Thessaloniki 54636, Hellas, ISSN: 1791-2377
- [Hohpe & Woolf, 2004]. Hohpe, G., & Woolf, B., *Enterprise integration patterns: Designing, building, and deploying messaging solutions*. Addison-Wesley Professional, 2004, ISBN-13: 978-0321200686
- [Hondori, 2013] Hondori, H. M., Khademi, M., Dodakian, L., Cramer, S.C., & Lopes, C.V., A spatial augmented reality rehab system for post-stroke hand rehabilitation. In *MMVR*, 2013, Vol 184, pp. 279–285, ISBN 978-1-61499-208-0, doi: 10.3233/978-1-61499-209-7-279
- [Hussain & Coleman, 2014] Hussain, T.S., & Coleman, S.L., *Design and Development of Training Games*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014, pp. 1-5, doi: [10.1017/cbo9781107280137.001](https://doi.org/10.1017/cbo9781107280137.001)
- [Jeffery, 2013] Jeffery, A., Panke, J., Eaket, N., & Wainer, G., Mobile simulation with applications for serious gaming. *Proceedings of the 2013 Summer Computer Simulation Conference*, 2013, Society for Modeling & Simulation International, Vista, CA, Article No. 27, 8 pages, ISBN: 978-1-62748-276-9
- [Lemus, 2015] Lemus, L., Navarro-Pardo, E., Moret-Tatay, C., & Pocinho, R., Serious Games for Elderly Continuous Monitoring. *Methods in molecular biology* (Clifton, N.J.), *Data Mining in Clinical Medicine*, 2015, vol. 1246, pp. 259-67, doi: 10.1007/978-1-4939-1985-7_16
- [Leonov, 2016] Leonov, A., Anikushkin, M., Buynov, A., *Serious Gaming for Facility Management*, *GIM International*, 2016, 30, pp. 20-23
- [Lotfi, 2015] Lotfi, E., Belahbib, A., & Bouhorma, M., Teaching Arabic Sign Language through an Interactive Web based Serious Game. *International Journal of Computer Applications*, 2015, Vol. 116, pp. 975-8887, doi: 10.5120/20315-2372

- [Mahmood, 2007] Mahmood, S., Lai, R. & Kim, Y. S., Survey of component- based software development, IET Software, 2007, vol. 1(2), pp. 57–66, [doi: 10.1049/iet-sen:20060045](https://doi.org/10.1049/iet-sen:20060045)
- [Mandell, 2008] Mandell, L. Financial knowledge of high school seniors. In Jing J. Xiao (ed.), *Advances in Consumer Finance Research*, 2008, pp. 170-171, New York: Springer Publishing
- [Marfisi-Schottman, 2016] Marfisi-Schottman, I., Gicquel, P.I., George, S., *Meta Serious Game: Supporting Creativity, Sessions for Mobile Serious Games*, Proceedings 10th European Conference on Games Based Learning (ECGBL), 2016, Paisley, United Kingdom. pp. 407-415
- [Marsh, 2014] Marsh, T., Jin S. J., Hong, C. C., *Entertainment and Language Learning: Voice Activated Digital Game and Interactive Storytelling Trials in Singapore School*. 13th International Conference Entertainment Computing (ICEC), Oct 2014, Sydney, Australia, pp. 217-219, doi: 10.1007/978-3-662-45212-7_27
- [Mestadi, 2018] Mestadi, W., Nafil, K., Touahni, R., & Messoussi, R., *An assessment of serious games technology: toward an architecture for serious games design*. International Journal of Computer Games Technology, 2018, 16 pages, doi: 10.1155/2018/9834565
- [Mitgutsch, 2011] Mitgutsch, K., *Serious Learning in Serious Games*. In: Ma M., Oikonomou A., Jain L. (eds) *Serious Games and Edutainment Applications*. Springer, London, 2011, pp. 45-58, doi: 10.1007/978-1-4471-2161-9_4
- [Molen, 2017] Molen, J.V.D., Wildeman, H., Goei, S. L., and Hoo, A. S., *The Odyssey Game, Simulation and Serious Games for Education*, 2017, pp. 99-112, Springer Singapore, ISBN: 978-981-10-0860-3, doi: 10.1007/978-981-10-0861-0_7
- [Paranthaman, 2018] Paranthaman, P. K., Dange, G. R., Bellotti, F., Berta, R., et al., *A Serious Game Architecture for Green Mobility, Applications in Electronics Pervading Industry, Environment and Society*, 2018, ISBN: 978-3-319-55070-1, doi: 10.1007/978-3-319-55071-8_9
- [Paulo & Castro, 2016] Paulo, M., & Castro, A., *Mobile serious game to instruct children about road safety aspects*, 2016, pp. 3203-3210, doi: 10.21125/edulearn.2016.1697
- [Reynolds, 2017] Reynolds, L., Hodge, P., & Simpson, A., *Serious games for mental health*. Journal of Psychiatric and Mental Health Nursing, 2017, 24(4), pp. 183-184, doi: 10.1111/jpm.12385
- [Rollings & Adams, 2003] Rollings, A., & Adams, E., *Andrew Rollings and Ernest Adams on game design*. New Riders, 2003, ISBN: 1592730019
- [Rouillard, 2014] Rouillard J., Serna, A., David, B., Chalon, R., *Rapid Prototyping for Mobile Serious Games*. In: Zaphiris P., Ioannou A. (eds) *Learning and Collaboration Technologies. Technology-Rich Environments for Learning and Collaboration*. LCT 2014. Lecture Notes in Computer Science, 2014, vol 8524, pp. 194-205, Springer, Cham, ISBN 978-3-319-07484-9, doi: 10.1007/978-3-319-07485-6_20
- [Ruan & Deng, 2009] Ruan J, Deng X. *On the second life-based education in virtual world*, Itme2009 - Proceedings 2009 IEEE International Symposium On It in Medicine and Education, 2009, pp. 1017-1020, doi: 10.1109/ITIME.2009.5236225

- [School, 2017] School, R., Ge, Z., & Fan, L., Social Development for Children with Autism Using Kinect Gesture Games: A Case Study in Suzhou Industrial Park, *Simulation and Serious Games for Education*, 2017, pp. 113-123, Springer Singapore, ISBN: 978-981-10-0860-3, doi: 10.1007/978-981-10-0861-0_8
- [Seibert & Vis, 2012] Seibert, J. & Vis, M., Irrigania - A web-based game about sharing water resources. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2012, Vol 16, pp. 2523-2530, doi: 10.5194/hess-16-2523-2012
- [Slimani, 2014] Slimani, A., Othman, B., Lotfi, E., Belahbib, A., Fatiha, E., Bouhorma, M., *Serious Games in Business Field, the Challenges and the Perspectives*, 2014.
- [Snaphaan, 2018] Snaphaan, L., Geerts, I., Burgmans, L., & Bongers, I., Are people with dementia motivated for a serious game?, *Gerontechnology*, 2018, Vol 17, pp. 178-178, doi: 10.4017/gt.2018.17.s.173.00
- [Sobke & Streicher, 2015] Sobke H., & Streicher, A., *Serious Games Architectures and Engines*. In: Dorner R., Gobel S., Kickmeier-Rust M., Masuch M., & Zweig K. (eds) *Entertainment Computing and Serious Games. Lecture Notes in Computer Science*, 2015, vol. 9970. Springer, Cham, 15283, Dagstuhl Castle, Germany, doi: [10.1007/978-3-319-46152-6_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46152-6_7)
- [Sprott & Wilkes, 2004] Sprott, D., & Wilkes, L., Understanding service-oriented architecture, *The Architecture Journal*, 2004, 1(1), pp. 10–17
- [Stavrev, 2019] Stavrev, S., Fluormat – a STEM based teaching platform. *International Conference "Automatics and Informatics'2019" Proceedings*, 03-04 October, 2019, pp.147-150, ISSN 1313-1850
- [Strecker & Rosenthal, 2016] Strecker, S., & Rosenthal, K., *Process Modelling as Serious Game: Design of a Role-Playing Game for a Corporate Training*, 2016, Vol. 01, pp. 228-237, doi: 10.1109/CBI.2016.33
- [Stubbe, 2017] Stubbe, H., Badri, A., Telford, R., Oosterbeek, S., & Van der Hulst, A., *Formative Evaluation of a Mathematics Game for Out-of-School Children in Sudan*, *Simulation and Serious Games for Education*, 2017, pp. 61-79, Springer Singapore, ISBN: 978-981-10-0860-3, doi: 10.1007/978-981-10-0861-0_5
- [Thurm & Cate, 2011] Thurm R., Cate, A. T., *Deloitte Business Simulation Game Promoting Integrated Thinking and Enhancing Responsible Leadership*, Deloitte, April 2011.
- [Trooster, 2017] Trooster, W., Goei, S. L., Ticheloven, A., Oprins E, et al., *The Effectiveness of the Game LINGO Online: A Serious Game for English Pronunciation*, *Simulation and Serious Games for Education*, 2017, pp. 125-136, Springer Singapore, ISBN: 978-981-10-0860-3
- [Van Der Aalst, 2007] Van Der Aalst, W. M., Beisiegel, M., Hee, K. M. V., Konig, D., & Stahl, C., A soa-based architecture framework, *International Journal of Business Process Integration and Management*, 2007, 2 (2), pp. 91 – 101, doi: [10.1504/IJBPM.2007.015132](https://doi.org/10.1504/IJBPM.2007.015132)
- [Van Joolingen, 2017] Van Joolingen, W., *A Germ for Young European Scientists: Drawing-Based Modelling*, *Simulation and Serious Games for Education*, 2017, pp. 13-28, Springer Singapore, ISBN: 978-981-10-0860-3, doi: 10.1007/978-981-10-0861-0_2.

[Varini, 2017] Varini, K., Marston, P., Schumann, R., Thompson, T., Kuokkanen, H., Destination Revenue Management Serious Game for Professional Development, Proceedings 15th APacCHRIE Conference, Bali, Indonesia, 31 May – 2 Jun 2017.

[Vinoski, 2006] Vinoski, S., Advanced message queuing protocol. IEEE Internet Computing, 2006, 10(6)

[Xin, 2009] Xin, C., Multiplayer Game in Mobile Phone Serious Game, Proceedings of the 2009 International Joint Conference on Artificial Intelligence, IEEE Computer Society Washington, DC, USA, 2009, pp. 56-58, ISBN: 978-0-7695-3615-6, doi: 10.1109/JCAI.2009.205

Уеб връзки

[ActiveMQ1, 2021] Apache Active MQ, <http://activemq.apache.org>, Retrieved on 01. 02. 2021.

[America's Army, 2021] America's Army. Available at: <http://www.americasarmy.com>. Retrieved on 01. 02. 2021.

[BLITAB, 2021] BLITAB, <http://blitab.com/>, Retrieved on 01. 02. 2021.

[CityOne, 2021] IBM, CityOne, A Smarter planet Game, Online: <https://www.youtube.com/watch?v=GeR19wFGjck>, Retrieved on 01. 02. 2021.

[COCO, 2021] COCO Simulator, <https://www.cocosimulator.org>, Retrieved on 01. 02. 2021.

[Crusaders, 2021] Crusaders, http://www.kongregate.com/games/Codename_Enter/crusaders-of-the-lost-idols?acomplete=crus, Retrieved on: 01.02.2021.

[Economia, 2021] The European central bank, €NOMIA - The Monetary Policy Game, <https://www.youtube.com/watch?v=YNSntgzcu48>, Retrieved on 01. 02. 2021.

[Flight simulator, 2021] Microsoft Flight Simulator, <https://www.flightsimulator.com/>, Retrieved on: 01.02.2021.

[Fps, 2021] Frames Per Second, https://en.wikipedia.org/wiki/First-person_shooter, Retrieved on: 01.02.2021.

[GIS, 2021] GIS, <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>, Retrieved on 01. 02. 2021.

[Heightmap, 2021] Heightmap, <https://www.definitions.net/definition/HEIGHTMAP>, Retrieved on 01. 02. 2021.

[InsideOne, 2021] Inside One, http://insidevision.fr/produits_braille_bloc_notes_tablette_insideone_UK_01.html, Retrieved on: 01. 02. 2021.

[Kafka, 2021] Apache Kafka. <https://kafka.apache.org/>, Retrieved on 01. 02. 2021.

[MQTT, 2021] MQTT, <http://mqtt.org>, Retrieved on 01. 02. 2021.

[NUI, 2021] NUI, <https://news.microsoft.com/2010/01/06/natural-user-interfaces-voice-touch-and-beyond>, Retrieved on 01. 02. 2021.

[Odyssey, 2021] Odyssey, <https://www.youtube.com/watch?v=yao5tK2O23Q>, Retrieved on 01. 02. 2021.

- [RabbitMQ, 2021] Rabbit MQ. <https://www.rabbitmq.com>, Retrieved on 01. 02. 2021.
- [Remision, 2021] Remision, <http://www.hopelab.org/projects/re-mission/>, Retrieved on 01. 02. 2021.
- [STOMP, 2021] STOMP, <https://stomp.github.io>, Retrieved on 01. 02. 2021.
- [True office, 2021] True office, <http://www.trueoffice.com>, Retrieved on 01. 02. 2021.
- [Unity3D, 2021] Unity 3D, <https://unity.com/>, Retrieved on: 01. 02. 2021.
- [Unreal Engine 4, 2021] Unreal Engine 4, <https://www.unrealengine.com/>, Retrieved on 01. 02. 2021.