

ИНСТИТУТ ПО МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА  
БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

Владимир Димитров Георгиев

Инструменти за представяне на 3D обекти и колекции в Интернет

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд

за присъждане на образователна и научна степен „доктор”

в професионално направление 4.6. „Информатика и компютърни науки”,

научна специалност 01.01.12. „Информатика”

Научен ръководител:

проф. д-р Радослав Павлов

София, 2015 г.

Дисертационният труд е обсъден и предложен за защита на разширено заседание на Институт по математика и информатика при Българска академия на науките, състояло се на .....

Защитата на дисертационния труд ще се състои на ..... от ..... часа в Мултимедийна зала на Институт по математика и информатика – БАН, ул. „Акад. Г. Бончев”, блок 8, София, на открито заседание на Научно жури.

Дисертационният труд е изложен на 126 страници и съдържа 11 фигури и 7 извадки от програмен код. Той включва увод, 5 глави, 4 приложения, списък от използваната литература от 74 източника, списък на 5 публикации на автора, свързани с дисертационния труд и техните цитирания.

Номерацията на фигурите и програмните кодове в автореферата следва оригиналната номерация, използвана в дисертационния труд.

Всички материали за защитата са на разположение на интересуващите се в библиотеката на Институт по математика и информатика при БАН, ул. „Акад. Г. Бончев”, блок 8, София, както и на сайта на ИМИ с адрес <http://math.bas.bg/>.

## СЪДЪРЖАНИЕ

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД.....	4
Актуалност на проблема.....	4
Цел и задачи на дисертационния труд.....	5
Структура на дисертационния труд.....	6
ПРЕГЛЕД НА СЪВРЕМЕННИ ТЕХНОЛОГИЧНИ РЕШЕНИЯ ЗА 3D	
ВИЗУАЛИЗИРАНЕ В ИНТЕРНЕТ.....	8
Развитие на съвременни Интернет технологии за 3D.....	8
Необходимост от 3D графики в уеб-базираните приложения.....	10
ТЕХНОЛОГИИ ЗА РАЗРАБОТКА НА 3D ИНСТРУМЕНТИ И УСЛУГИ В ИНТЕРНЕТ	11
HTML5 технологии за 3D графики в уеб браузър.....	11
JavaScript библиотеки за работа с 3D.....	13
Клиентски и сървърни технологии за разработка на уеб приложения.....	14
РАЗРАБОТЕНИ МОДЕЛИ, СОФТУЕРНИ КОМПОНЕНТИ И ПРИЛОЖЕНИЯ.....	16
Модел и софтуерен компонент за визуализиране на 3D обекти в уеб браузър ..	16
Модел и софтуерен компонент за визуализиране на сцени с 3D колекции в уеб	
браузър.....	19
Онлайн платформа за композиране на колекции от 3D обекти и показването им в	
обща сцена в уеб браузър.....	22
ПРИЛОЖЕНИЯ НА РАЗРАБОТЕНИТЕ КОМПОНЕНТИ И СРЕДИ ЗА	
ВИЗУАЛИЗИРАНЕ НА 3D ОБЕКТИ И ВИРТУАЛНИ КОЛЕКЦИИ.....	25
Приложения на разработените инструменти.....	25
Направления, в които може да бъде развито и разширено изследването.....	27
ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД.....	28
АПРОБАЦИЯ.....	30
ЛИТЕРАТУРА.....	32

## **ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

### **Актуалност на проблема**

С развитието на Интернет технологиите, търсенето на интерактивни уеб страници във всяка една сфера, представена онлайн, значително се увеличава. Показването на информацията по привлекателен начин е особено важно за системите за представяне на цифрово съдържание, електронното обучение, онлайн търговията и други области, в които визуализацията е от ключово значение. Осигуряването на триизмерна визуализация на единични или колекции от обекти като алтернатива на традиционните двумерни изображения е идеалният инструмент за привличане на повече посетители и запазване на техния интерес към съдържанието.

Най-новата версия на HTML стандарта за създаване на Интернет страници – HTML5, включва множество подобрения и нови компоненти, между които е и canvas елемента, позволяващ визуализиране на сложни динамични графики посредством интерфейс, наречен WebGL. С негова помощ е възможно показването на триизмерни анимации в уеб страниците, наред с останалото им съдържание, без да се налага инсталацията на допълнителен софтуер.

Добавянето на поддръжка на 3D графики в модерните уеб браузъри стимулира разработката на различни библиотеки за работа с триизмерни графики. Създадени и ориентирани към целите на специфични приложения, тези библиотеки улесняват работата с WebGL интерфейса, костваща на програмистите доста усилия, поради генерализираната структура и намерението този интерфейс да се използва за всякакви 3D анимации. Но въпреки, че комплексните математически изчисления за 3D визуализация и други сложни задачи се спестяват на разработчиците, работата около

добавяне на триизмерно съдържание в уеб приложенията отнема значително време и за нея са необходими специалисти със знания в тази област.

## **Цел и задачи на дисертационния труд**

**Основната цел** на дисертационния труд е да се разработят модели, софтуерни компоненти и среда за създаване и представяне на 3D обекти в Интернет, които биха могли да се използват от авторите на онлайн съдържание и уеб разработчиците за интерактивно показване на предварително създадени триизмерни модели наред с останалото уеб съдържание. Тези инструменти дават възможност да се интегрира 3D съдържание в нови и съществуващи уеб страници с минимални усилия и необходими знания и след като бъдат публикувани в Интернет, да са налични и достъпни за всеки потребител на всяко устройство, без да се налага инсталирането на допълнителен софтуер.

Постигането на основната цел се конкретизира с изпълнението на следните **основни задачи**:

Задача 1: Проучване и анализиране на най-новите средства и технологии за рисуване на 3D в уеб браузър.

Задача 2: Разработване на модел и софтуерен компонент за възпроизвеждане на предварително създадени 3D модели в уеб страници, позволяващ изглед от всеки ъгъл и разстояние.

Задача 3: Разработване на модел за описване на колекции от триизмерни обекти и изграждане на софтуерен компонент за конфигуриране и визуализиране на тези колекции в уеб страници, даващ

възможност за свободно движение между обектите и показващ допълнителна информация за всеки от тях.

Задача 4: Разработване на архитектура на онлайн платформа за създаване, управление и представяне на виртуални експозиции от 3D обекти онлайн и добавяне на възможност за промяна на триизмерната сцена, като текстура (материал) за пода и мащаб на съставните модели. Изграждане на Интернет приложение за управление на 3D експозиции. Моделиране, изграждане и предоставяне на приложен програмен интерфейс за управление на обектите в системата от външни софтуерни клиенти.

Задача 5: Анализ на изградените софтуерни решения, тестване на създадените инструменти с реални модели и обекти и преглед на бъдещото им развитие и възможни интеграции с други системи.

## **Структура на дисертационния труд**

Дисертационният труд се състои от увод, пет глави, заключение, принос и съпътстващите го приложения.

**Глава 1** представя проблемите пред визуализирането на триизмерно съдържание онлайн, подхода и разработените инструменти за тяхното разрешаване и формулира обекта, предмета, целите и отделните задачи на изследването.

В **Глава 2** са разгледани предишното и най-новото поколение технологии и средства за постигане на 3D визуализиране в Интернет. Там са описани специфичните нужди от иновативни разработки в различни сфери от Интернет индустрията, идентифицирани по време на изследването, както и начините за рисуване на 3D в уеб браузъра с

помощта на съществуващи инструменти. В нея също са посочени изработените от нас софтуерни компоненти и системи и съответните проблеми, които те решават.

**Глава 3** прави преглед на основните технологии за постигане на триизмерно анимиране в уеб браузъра - HTML5, canvas и WebGL. Там са описани различни библиотеки за работа с 3D графики в Интернет и това как и в какви специфични сценарии се използват. Тази глава също разглежда и други софтуерни компоненти за улесняване разработката на 3D уеб страници, сървърни приложения и уеб сервиси.

В **Глава 4** са описани разработените в хода на изследването модели и конкретните софтуерни компоненти и системи за 3D графики в Интернет – jQuery плъгин за визуализиране на 3D обекти, JavaScript компонент за визуализиране на сцени с 3D колекции и онлайн среда за композиране на колекции от 3D обекти и показването им в обща сцена. За всеки един от модулите е представена подробна информация за неговата архитектура, използвани технологии и библиотеки за разработка, начин на работа, ограничения и други специфики.

**Глава 5** описва текущите и бъдещи приложения на изградения софтуер. Разгледани са подробни сценарии на използване на създадените компоненти за решаване на общи и конкретни проблеми от различни области. Там също се дискутират възможните направления, в които може да бъде разширено изследването и потенциалните развития на отделните разработени инструменти за обогатяване на тяхната функционалност.

Дисертационният труд е изложен на 118 страници и съдържа 11 фигури и 7 извадки от програмен код. Той включва увод, 5 глави, 4 приложения, списък от използваната литература от 64 източника, списък на 4 публикации на автора, свързани с дисертационния труд и списък на техните цитирания.

## **ПРЕГЛЕД НА СЪВРЕМЕНИ ТЕХНОЛОГИЧНИ РЕШЕНИЯ ЗА 3D ВИЗУАЛИЗИРАНЕ В ИНТЕРНЕТ**

### **Развитие на съвременни Интернет технологии за 3D**

Преди появата на HTML5, визуализирането на сложните графики в уеб браузъра се постигаше най-често с помощта на Adobe Flash - мултимедийна и софтуерна платформа за векторни графики, анимация, игри и сложни Интернет приложения [7]. Flash приложенията се изпълняват с Adobe Flash Player, който се инсталира като допълнителен компонент (Plug-in) на известните уеб браузъри под различни операционни системи като Windows, OS X, Linux и други. Въпреки че е широко разпространена и достъпна на повечето персонални компютри, Flash технологията има няколко основни недостатъка. Поддръжката на Adobe Flash Player за различните операционни системи варира – докато по-старите версии се поддържат от голяма част от операционните системи, последната му версия работи едва на няколко от тях. Официално Apple не поддържа Flash за операционната им система iOS, с която работят близо един милиард мобилни iPhone, iPad и iPod устройства. Първоначално създадена като независима платформа, тази технология не се поддържа еднакво на всички мултимедийни устройства и дори липсва на някои от тях.

Друг похват за показване на 3D обекти в Интернет среда е вграждането им в PDF документи [4]. Стандарта Portable Document Format (PDF), също разработен от Adobe, е отворен стандарт за разпространение и представяне на документи. Тъй като не е част от HTML стандарта, съдържанието на PDF документите не може лесно да се вгради и



разпространява като част от Интернет страници. За да се използват функциите за 3D рендериране на PDF, е необходимо съдържанието да се прилага като отделни файлове, които от своя страна да се визуализират в отделен интерфейс. Това би нарушило ползваемостта и възприемането на съдържанието, тъй като сменяйки интерфейсите, потребителя губи фокуса си върху предишното и основно съдържание. Друг основен недостатък на PDF е, че той не е платформа за програмиране и в документите не може да се добави каквато и да е бизнес логика. Възможността да се реагира на всяко действие от поведението на потребителя е основно изискване на съвременните приложения и липсата на такава в PDF формата ограничава неговото използване за целите на интерактивните 3D графики.

Съществуват редица други начини за внедряване на 3D графики в Интернет приложенията, като Microsoft Silverlight – среда за разработка и изпълнение на сложни Интернет приложения, сходна по характеристики на Adobe Flash, както и специфични технологии за различните уеб браузъри – ActiveX за Microsoft Internet Explorer и Extensions за Mozilla Firefox. Тези технологии обаче не са достатъчно разпространени и масово поддържани.

Последната версия на HTML стандарта – HTML5 [8], включва много подобрения и нововъведения, между които е и canvas елементът за визуализиране на сложни графики динамично. Този елемент дава възможност за визуализиране на 3D графики посредством контекст, поддържащ WebGL стандарта [16]. С помощта на JavaScript код, чрез този интерфейс могат да се добавят множество триизмерни модели и сцени към дадена уеб страница. Като стандарт за дефиниране на Интернет съдържание, HTML5 осигурява основите на единен начин за представяне на интерактивни 3D графики във всеки модерен уеб браузър, работещ на каквото и да е устройство.

## Необходимост от 3D графики в уеб-базираните приложения

С развитието на Интернет технологиите през последните няколко години нарасна и търсенето на по-богато и интерактивно съдържание. Уеб приложенията от различни сфери като електронния бизнес, онлайн обучението, цифровите библиотеки, социалните среди и други, все повече добавят 3D графики към тяхната функционалност. Възпроизвеждането на обекти в триизмерна форма не може да се сравни с традиционните средства като текст и изображения [10]. То дава възможност на Интернет потребителите да възприемат реалните свойства на обектите, като форма и размери, по-добре. Постигането на такова високо ниво на визуализация е приоритет както за съществуващите, така и за новите уеб приложения.

В областта на дигиталните библиотеки, където визуализирането на информацията е от ключово значение, нуждата от триизмерна анимация се откроява ясно. Представянето на 3D модели на цифровизирани обекти е високо оценен плюс за всяка една дигитална презентация и важна алтернатива на традиционните двумерни изображения и видео. Тази технология дава възможност за комбиниране на различни обекти в една интерактивна виртуална среда, с цел по-добра репродукция на визуалните и пространствени характеристики на артефактите, по-прегледно сравнение на техните свойства, създаване на модели на взаимодействие между тях и други триизмерни операции от реалния свят. Разработените от нас стратегии за креативно мислене и обучение, базирани на метода Анализ, могат да използват технологията за създаване на триизмерни колекции директно за дефиниране и възпроизвеждане на съдържанието си.

Електронната търговия също е област в която 3D графиките навлизат с бърза скорост. Повечето клиенти не харесват пазаруването по Интернет поради липсата на физическото присъствие на продукта. Като предоставят възможност на потребителите да видят триизмерен модел на продуктите от различен ъгъл и от различно разстояние, търговските организации в

Интернет получават повече доверие в себе си и увеличават броя на продажбите си [12].

Нарастващата нужда от 3D графики в приложенията от различни сфери с онлайн присъствие е ясна индикация за необходимостта от изследвания и нови изобретения в тази област. С все още неразгърнат потенциал за дигиталните библиотеки, електронната търговия и обучение, технологиите за визуализиране на триизмерни обекти в уеб браузъра са приоритет на различни инициативи. С тяхното развитие ще се постигне уникален напредък и разкрият нови хоризонти в тези области. За да улесним работата по добавянето на триизмерно съдържание към уеб страници, ние разработихме няколко модела за описване на триизмерни обекти и колекции и изградихме няколко софтуерни компонента и услуги за визуализирането им в потребителския уеб браузър. Те са предназначени за хора с различни нива на познания – както за програмисти, така и за автори без никакви технически знания.

## **ТЕХНОЛОГИИ ЗА РАЗРАБОТКА НА 3D ИНСТРУМЕНТИ И УСЛУГИ В ИНТЕРНЕТ**

### **HTML5 технологии за 3D графики в уеб браузър**

Елементът `canvas`, чрез който се постига рисуване на 3D обекти и сцени в HTML5, служи за възпроизвеждане на растерни графики в „непосредствен режим“ (*immediate mode*), който може да бъде контролиран с JavaScript посредством няколко програмни интерфейса [6]. Анимирание в непосредствен режим означава, че цялата видима област на елемента се

прерисува на всеки кадър и работата на програмистите се свежда до това да конфигурират какво да бъде изрисувано на следващия кадър, използвайки JavaScript код. Това много го отличава от останалите технологии за рисуване на графики в уеб браузъра, като Flash, Silverlight и SVG, които оперират в „режим на задържане“ (retained mode). Този режим работи като се пази списък от обекти, които да бъдат показани и визуализирани на екрана според предварително зададени им характеристики като координати на позицията им, прозрачност и други. Това спестява на програмистите работата с операциите на ниско ниво, но в същото време ограничава контрола над това какво изображение се показва в края на анимирането на всеки кадър.

WebGL е приложен програмен интерфейс на canvas елемента за рисуване на хардуерно ускорени 3D графики с JavaScript [13], базиращ се на утвърдения графичен стандарт OpenGL. WebGL е гъвкав интерфейс, с помощта на който могат да се изпълнят всички триизмерни сценарии, но в същото време е доста сложен за работа. За да изрисува триизмерни графики едно WebGL приложение трябва да изпълни редица сложни стъпки за инициализиране на необходимите 3D ресурси като полето на изглед, различни структури от данни за показваните модели и трансформациите, свързани с тях. В приложение 1 от дисертацията е посочена примерна WebGL програма за изчертаване на въртящ се 3D куб. Поради многото стъпки и сложната му конфигурация, размера на WebGL програмите е значително голям – кода на приложението включва повече от 270 реда. Това, наред с нуждата от сложни математически изчисления, необходими за визуализиране дори за най-простите обекти, е сравнително неудобно за програмистите.

## JavaScript библиотеки за работа с 3D

Нуждата от улесняване на процеса на работа с WebGL доведе до появата на няколко JavaScript библиотеки, специализирани в работата с 3D съдържание. Те включват функционалности като внедряване и показване на предварително-създадени 3D модели, камери за управление на позицията и гледната точка и посоката на изгледа, светлини и други. Независимо дали предоставят функции, специфични за приложенията на определени Интернет индустрии, или обхващат триизмерните графики по-широко, тези библиотеки безспорно подобряват методите на работа с WebGL и намаляват времето и разходите за разработка.

Сред всички JavaScript библиотеки за работа с WebGL, Three.js [14] се откроява и изпъква като безспорен лидер измежду тях. Тя предлага множество лесни за работа и интуитивни обекти, които са обичайни за 3D графиките, вградени типове и помощни инструменти. Three.js е бърза, мощна и добре поддържана библиотека с отворен код, достъпна от GitHub, върху която работят и си сътрудничат няколко основни автора. Тя е стандартен избор за работа с WebGL и повечето WebGL съдържание в Интернет, вариращо от експериментални интерактивни филми до сложни и иновативни интерфейси, е разработено с нея.

Three.js предлага абстракция на детайлите на приложния програмен интерфейс на WebGL, представяйки 3D сцените като цели модели, материали, светлини, камери и други обекти, с които програмистите на графики обикновено работят. Много повече от обвивка на WebGL, тя съдържа много предварително изградени обекти, полезни за разработката на игри, анимации, презентации, визуализиране на данни, приложения за моделиране и специални ефекти. Тъй като WebGL не предлага функционалности за определяне дали курсора на мишката е върху даден обект от триизмерната сцена, библиотеката предлага такава информация и прави добавянето на интерактивни графики към приложенията лесно. Тя

разполага с подробни и лесни за използване обекти за 3D математически изчисления като матрици, проекции и вектори. Многото различни файлови формати, които библиотеката поддържа, правят възможно вмъкването на обекти, създадени с популярни 3D софтуери за моделиране в текстов, двоичен или JSON формат. Освен на WebGL контекст, библиотеката може да визуализира графиките на 2D контекст на canvas елемент, SVG елемент и CSS. В редките случаи, когато WebGL не е поддържана на определено устройство, показването на графики с Three.js може да използва друг наличен графичен инструмент.

Three.js е една високо-продуктивна, пълно-функционална и лесна за ползване библиотека за 3D графики в уеб браузъра. Тя е използвана за разработката на компонента за визуализиране на предварително-определени колекции от триизмерни обекти онлайн и система за създаване, публикуване и визуализиране на тези колекции в Интернет, представен в тази дисертация.

## **Клиентски и сървърни технологии за разработка на уеб приложения**

Разработчиците на уеб приложения ежедневно се сблъскват с едни и същи проблеми като съвместимостта между браузърите, липсата на уеднаквен начин за работа с DOM и потребителските събития и нуждата от различни помощни средства. Ако не се използват подходящи библиотеки, улесняващи работата, разработването на уеб страници и приложения би отнемало значително време. Измежду наличните днес такива, jQuery е най-популярната междуплатформена JavaScript библиотека, която се използва от повече от 60% от най-посещаваните Интернет страници [9]. Нейния синтаксис е проектиран да улесни работата на програмиста около навигацията в HTML документа, избирането на DOM елементи, създаване на анимации, обработката на събития, разработването на AJAX

приложения и други. jQuery също дава възможност за изграждане на JavaScript пългини, което позволява на програмистите да създават абстракции на сложни специфични действия на ниско ниво, като анимации и ефекти, както и цялостни функционални компоненти за потребителски интерфейс на високо ниво, като календар за избор на дата, графика за визуализиране на данни и таблица с поддръжка на сортиране, филтриране, групиране и агрегиране на данни.

Друг много полезен инструмент за програмистите на Интернет страници и приложения е Bootstrap [1] – колекция от HTML и CSS компоненти с отворен код, за изграждане на страници, които изглеждат еднакво добре и функционални на различни размери екрани – от малки мобилни устройства до големи десктоп монитори. Библиотеката включва шаблони за типография, форми, бутони, навигационни елементи и други компоненти за потребителски интерфейс, както и JavaScript разширения за тяхното управление.

В допълнение към JavaScript кода, който се изпълнява на потребителския уеб браузър, едно Интернет приложение включва и сървърна част, отговорна за задачи като съхранение и извличане на данни, проверка за автентичност и оторизация, предлагане на статично съдържание и връзка с отдалечени системи. Кода в този слой от системата остава скрит за крайния потребител и поради тази причина в него се осъществява най-важната бизнес логика като проверка на пароли, защита на информацията, онлайн плащания, комуникации с клиентите и други. За разработването на тези общи за уеб приложенията задачи, програмистите на сложни системи почти винаги използват една или повече библиотеки за уеб приложения.

Повечето библиотеки за уеб приложения са базирани на MVC модела [11]. MVC е шаблон за архитектура на софтуер, предназначен за изграждане на потребителски интерфейси. Той разделя дадено софтуерно

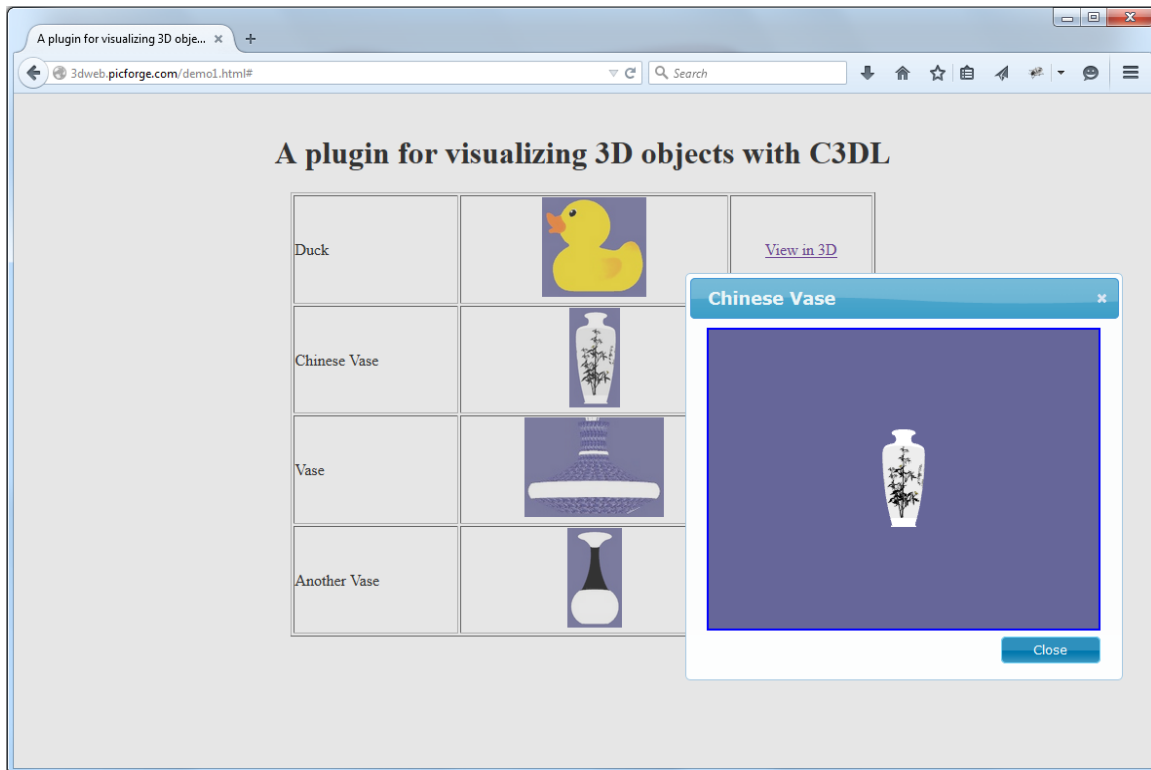
приложение на три тясно-свързани части – модел, изглед и контролер, с цел разграничаване на вътрешното представяне на информацията от това как тя се представя и приема от крайния потребител. MVC архитектурата е многоцелева среда за разработка на приложения от всякакъв тип. С MVC библиотеките могат да се изграждат различни функционалности за едно уеб приложение, като сервиране на статично съдържание, динамични HTML страници, както и сложни уеб услуги като REST. За целите на тази дисертация се използва Perl Catalyst библиотеката, базирана на MVC архитектурата, за да се разработят уеб приложение и уеб услуги за създаване, управление и презентирание на 3D колекции от обекти в Интернет.

## **РАЗРАБОТЕНИ МОДЕЛИ, СОФТУЕРНИ КОМПОНЕНТИ И ПРИЛОЖЕНИЯ**

### **Модел и софтуерен компонент за визуализиране на 3D обекти в уеб браузър**

Използвайки jQuery плъгин архитектурата [5] и JavaScript библиотеката за триизмерни графики C3DL [2], ние разработихме софтуерен компонент за визуализиране на предварително-създадени триизмерни модели в уеб страници по интерактивен начин. Този компонент позволява на уеб дизайнерите и разработчиците да интегрират 3D графики в нови и съществуващи уеб страници лесно и бързо, само с няколко промени на HTML кода. Пълният му код е описан в приложение 2 от дисертацията.





Фиг. 5: Компонент за визуализиране на обекти в веб браузър в действие

На фигура 5 е показана веб страница, използваща компонента който разработихме. Първоначално страницата съдържа списък от обекти в табличен вид и за всеки един от тях са налични детайли като име и изображение. При въвеждането на нашия компонент се добавя още една колона в таблицата, съдържаща връзка с етикет "View in 3D", която показва съответния триизмерен модел в нов прозорец. Разработеният плъгин за визуализиране на триизмерни модели в веб браузър може да се прикачи към различни елементи като такива за връзка, бутони и други. След инициализация той започва да следи за кликове с мишката върху съответния елемент и когато това се случи, отваря новия прозорец в който изрисова съответния триизмерен модел. Модела за данни, използван от нашия компонент, изисква основния елемент за инициализация да включва HTML атрибута `model_path`, съдържащ правилния URI идентификатор на

файла с триизмерните данни. Този идентификатор служи на софтуера за извличане на данните за 3D модела като неговата геометрия, материал и текстури, които да се използват за визуализацията му. Програмен код 5 показва добавените елементи за връзка, съдържащи необходимите атрибути, без които компонента няма да работи, в удебелен шрифт.

```
<tr>
  <td>Duck</td>
  <td align="center"></td>
  <td align="center"><a href="#" class="c3dl"
model_path="models/duck/duck.dae">View in 3D</a></td>
</tr>
<tr>
  <td>Chinese Vase</td>
  <td align="center"></td>
  <td align="center"><a href="#" class="c3dl"
model_path="models/jarronchino/models/jarronchino.dae">View in 3D</a></td>
</tr>
```

Програмен код 5: HTML код с елементи за инициализация на компонента за визуализиране на единични 3D обекти

Инициализацията и конфигурацията на компонента също не изисква много код. В програмен код 6 се виждат JavaScript командата за инициализиране на плъгина за всички елементи за връзки, добавени в таблицата. С посочената команда се вземат всички елементи от документа, които имат class атрибут със стойност "c3dl". В нашия случай това са новите елементи, които добавихме, посочени в програмен код 5. Получения списък от елементи се подава на конструктора на нашия плъгин – c3dl\_3d\_viewer() – който го обхожда и за всеки елемент от него взема стойността на model\_path атрибута и инициализира процедурата за обработка на събития от мишката, която визуализира съответния 3D модел в нов прозорец.

```
<script type="text/javascript">
  jQuery(function($) {
    $('#c3dl').c3dl_3d_viewer();
  });
</script>
```

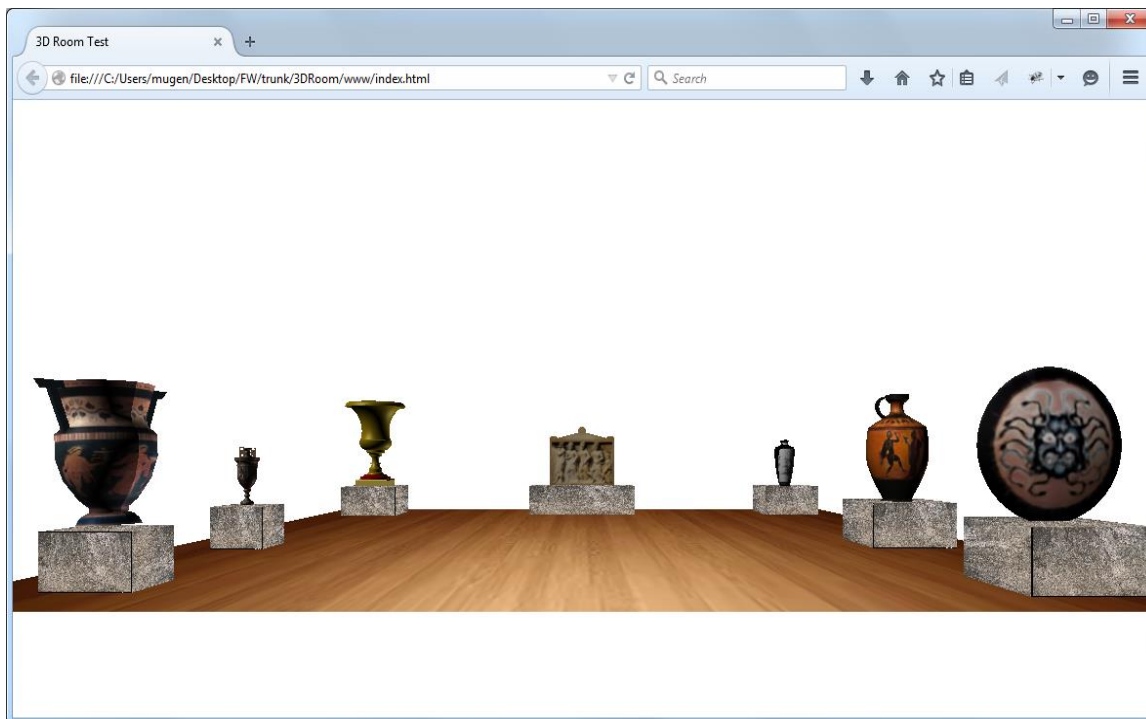
Програмен код 6: JavaScript код за инициализиране на компонента за визуализиране на единични 3D обекти

Крайният резултат от действието на разработения плъгин е скриването на техническите детайли и сложните пресмятания и конфигурации, необходими за възпроизвеждане на 3D модели в Интернет от уеб дизайнери и разработчици. С негова помощ хора без специфични знания в триизмерните графики могат да добавят интерактивни визуализации на 3D модели в техните уеб приложения и по този начин да разширят презентационните възможности на Интернет страниците, които са имали досега и да предоставят едно по-добро изживяване на техните потребители.

### **Модел и софтуерен компонент за визуализиране на сцени с 3D колекции в уеб браузър**

За да се подобри преживяването на потребителя в различни онлайн интерфейси, в хода на това изследване бяха разработени модел за описване на колекции от триизмерни обекти, част от една обща сцена и компонент за визуализиране на предварително дефинирани експозиции от 3D обекти в уеб браузър. Той позволява на авторите да определят множество триизмерни модели, които да бъдат показани на една сцена, въвеждайки няколко конфигурационни опции като тяхната позиция, мащаб,

текст с детайли и други. Триизмерните модели трябва да бъдат запазени в OBJ формат [15], който е широко използван и се поддържа от всички популярни програми за създаване на 3D модели. Вече дефинираната сцена може да се визуализира в уеб страница и позволява на потребителите да изучават всички обекти в нея от различни аспекти. Потребителите могат да променят положението на гледната точка и позицията в която гледат, което им дава усещането че са в действителна стая и обикалят измежду истински обекти в нея. Посетителите още могат да прегледат допълнителната информация към всеки обект, посочена от автора, което запълва нуждата от по-подробни знания за дадена колекция. Кодът на изградения компонент може да бъде видян в приложение 3 от дисертацията.



Фиг. 6: Първоначален изглед на компонента за визуализиране на колекции от 3D обекти

Компонентът е реализиран като JavaScript клас, чийто конструктор приема като опции информация за обектите, включени в показаната колекция и DOM идентификатора на canvas елемента, който ще се използва за рисуване на графиките. В него използваме Three.js библиотеката за визуализиране на триизмерни графики с WebGL и jQuery за управление на събития и елементите от уеб страницата. Начин на рисуване на 3D графиките наподобява този при C3DL библиотеката, но тъй като този компонент показва повече от един обект и предоставя повече функционалности на потребителя, за неговата реализация са използвани съвсем различни ресурси за камери, светлини, контролери на движението и други.

Същинската част от сцената са триизмерните модели, които са част от показваната виртуална колекция. Three.js библиотеката може да работи с модели в различни формати, като OBJ, Collada, PLY, STL. Разработеният компонент поддържа един от най-популярните от тях – OBJ формата, който позволява добавянето на допълнителна информация за материал и текстура към всеки модел. Моделът на данни, разработен от нас за нуждите на нашия компонент, включва различни свойства на обектите от колекцията. Те трябва да са дефинирани като масив от JSON обекти, описващи следните атрибути за всеки от тях:

- Име и допълнителна информация за обекта, които да бъдат показани в нов прозорец при поискване от потребителя. Може да съдържа HTML елементи като форматиран текст и изображения.
- Информация за 3D модела – формат, адреси на основния файл за геометрията, материала и текстурата.
- Мащаб на обекта. Това свойство може да бъде използвано за променяне на размерите на обекта – ако имаме обект от

колекцията, които изглежда прекалено голям – може да го смалим използвайки тази стойност.

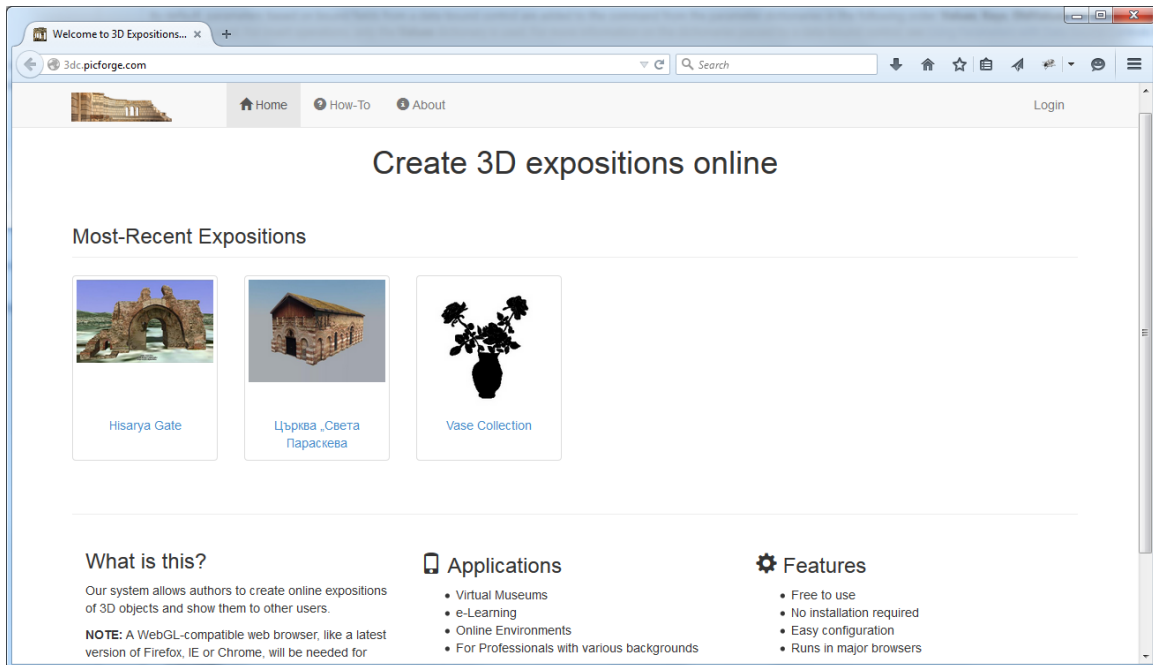
- Основа на обекта. Указва дали дадения обект да бъде поставен върху мраморен блок, служещ за основа или директно на земята.

Освен че се грижи за изрисването на пълната триизмерна сцена, съдържаща виртуалната колекция, компонентът обработва и входа от потребителските мишка и клавиатура. Тези команди се използват за контролиране на движението между обектите и свободното въртене на посоката на камерата. Позицията на камерата може да се променя по X и Z осите, посредством клавишите със стрелки. Посоката на камерата се променя със задържане на десния бутон на мишката и местене на мишката в различни посоки. Този вид контроли много наподобяват използваните в съвременните компютърни игри и са идеални за виртуални триизмерни среди от първо лице.

### **Онлайн платформа за композиране на колекции от 3D обекти и показването им в обща сцена в уеб браузър**

За да се улесни процеса на създаване на виртуални колекции и добавим допълнителна функционалност като ограничение на достъпа, многократна промяна на съществуваща колекция и публикуване на такава, се създаде богата на функционалности онлайн платформа. Изградената система представлява уеб среда, която предоставя на авторите пълни функционалности за управление на колекции – създаване, публикуване, отмяна на публикуването, промяна и изтриване. От определена страница, защитена с парола, авторите могат да достъпват тяхното собствено табло и управляват колекциите, създадени от тях. Всички потребители, включително и тези, които не са се регистрирали в системата, имат достъп

до публичните секции на платформата, като списъка с последните публикувани колекции, изгледа на дадена публикувана колекция и друго съдържание на приложението. Авторите могат да създават експозиции, състоящи се само от един обект, като сграда или автомобил, или включат много обекти, предназначени да се показват заедно като част от една колекция. При разработката на тази система, компонента за визуализиране беше подобрен чрез добавянето на допълнителни конфигурационни опции за колекцията и обектите в нея, като текстура за пода на сцената и други.



Фиг. 9: Начална страница на платформата за създаване и публикуване на виртуални 3D експозиции

В разработената платформа съществуват три групи от потребители – администратори, автори и анонимни (всички останали) и всяка от тях има различно ниво на достъп и интерфейс. Фигура 9 показва началната страница на приложението, от която всички могат да видят най-новите публикувани колекции и да изберат да разгледат всяка една от тях.

Главното меню, което винаги се показва хоризонтално в най-горната част на всички страници, позволява бърза навигация между различните секции. То се променя динамично и показва допълнителни елементи според ролята на текущия потребител – например, за авторите и администраторите в системата ще бъде показан бутон, водещ към секцията за управление на колекции.

Авторите са регистрирани в системата потребители, които могат да създават собствени и управляват собствени колекции от обекти, както и да ги публикуват, което ги прави достъпни за другите посетители. След като влязат успешно в системата, за тях ще се появи допълнителен “Manage” бутон в главното меню, който води до авторското табло. От тази секция, авторите могат създадат нови и видят списък колекциите, които те са създали, както и разгледат, публикуват, отменят публикуването, изтрият и променят съдържанието на всяка една от тях.

Администраторите в системата имат достъп до всяка част от нея и могат да променят всички колекции, включително и тези, създадени от други потребители. Тази група от потребители имат за цел да упражняват контрол над съдържанието на колекциите, като го променят или дори отменят публикувани колекции, когато това е нужно.

Всички потребители в платформата имат достъп до секцията за визуализиране на колекция, която използва компонента, описан в предишната точка. Подавайки му предварително-конфигурирана експозиция от един или повече обекти, този компонент построява 3D сцена, съдържаща всички необходими елементи като камери, светлини, модели на обектите, геометрии и текстури за пода и основите. След като сцената е напълно инициализирана, посетителят има възможност да промени позицията на камерата в триизмерното пространство с клавиатурата, което симулира свободно движение в сцената, както и да промени посоката, към която камерата е насочена, с мишката.



Потребителският интерфейс на платформата е базиран на последните HTML5 стандарти за разработка на уеб страници. В допълнение към функционалностите за крайните потребители, достъпни от него, платформата също предоставя набор от RESTful уеб услуги за управление на различни части от нея. С тяхна помощ се дава възможност на друг софтуер, като уеб браузър или друго приложение, да получи информация за всички публикувани колекции или специфична колекция, както и да промени, публикува, отмени публикуването и изтрие дадена колекция. Тези уеб услуги позволяват функционалности на платформата да се интегрират в други системи и използват за различни цели.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ НА РАЗРАБОТЕНИТЕ КОМПОНЕНТИ И СРЕДИ ЗА ВИЗУАЛИЗИРАНЕ НА 3D ОБЕКТИ И ВИРТУАЛНИ КОЛЕКЦИИ**

### **Приложения на разработените инструменти**

jQuery плъгина за визуализиране на 3D модели, който разработихме, е компонент с общо предназначение, който може да се използва в различни сценарии – от статични страници, визуализиращи единици обекти, до сложни уеб приложения, съдържащи информация за хиляди обекти. Типичен сценарий за добавяне на тази функционалност е съществуваща страница, представяща списък от елементи с информация за всеки от тях. За добавяне на 3D изгледи на елементите, авторът трябва предварително да изработи триизмерни модели за тях, използвайки професионален софтуер като 3D Studio Max или Maya. Създадените модели се качват на сървър в Интернет, откъдето трябва да са достъпни за посетителите на

страницата, прилагат се промените по HTML кода, след което 3D визуализацията е налична.

Софтуерният модул за показване на виртуални колекции от триизмерни обекти, представен в тази дисертация, също е инструмент с общо предназначение. В него могат да се представят групи от предварително създадени със специфичен софтуер 3D обекти от всякакво естество. Той може да се интегрира във всяка уеб страница и да изрисува триизмерната сцена наред с останалото HTML съдържание. Конфигурацията на компонента изисква добавянето на JavaScript код, който определя свойствата на обектите в текущата колекция като име, описание, мащаб, адрес на файла за модела и други. Софтуера позволява показването само на един или множество от обекти и това го прави удобен за презентиране на различни типове предмети в различни сценарии, като показване на архитектурни забележителности като сгради и паметници, произведения на изкуството като статуи и други по-малки артефакти, индустриални машини като автомобили и самолети.

Разработената среда за управление на виртуални колекции, описана в предишната глава, е цялостно решение за крайните потребители, които искат да организират онлайн експозиция и да я представят на тяхната публика. Имайки регистриран потребител в системата с тази роля, даден автор има възможност да създаде експозиция на колекция от един или повече 3D обекти, предварително създадени със специализиран софтуер. Благодарение на широката гама от функционалности, които системата предлага, авторите могат да я използват в различни сценарии на презентация – от големи единични обекти като сграда, кола и други, до колекции от множество малки предмети. Освен от крайните клиенти, използващи потребителския интерфейс, платформата за 3D експозиции може да бъде използвана и от интелигентни софтуерни агенти чрез приложния програмен интерфейс, който тя предлага. Това дава възможност на други системи, като клиентски уеб браузър или приложение, да използва

групата от RESTful веб услуги, предлагани от средата, за да управлява колекциите в нея. По този начин другите приложения могат да интегрират напълно функционалностите на платформата в тях, предлагайки на техните собствени потребители възможността да извличат информация за публикувани колекции, както и променят, публикуват и изтриват колекции, до които имат достъп.

### **Направления, в които може да бъде развито и разширено изследването**

Една област за развитие на модулите за визуализиране на триизмерните материали е добавянето на звук към тях. Друго значително подобрение на компонента за визуализиране на онлайн 3D колекции е показването на фигури на посетителите на тяхното местоположение във виртуалната сцена и тяхното движение. Не на последно място стои и увеличаването на броя на различните формати на 3D модели, поддържани от двата презентационни компонента.

В онлайн платформата за управление на триизмерни виртуални колекции също предстоят няколко важни подобрения. Първото от тях е разширяване на метаданните, които се съхраняват за всеки обект. Освен име и описание на всеки предмет, ние можем да добавим други свойства като автор, произход, дата и други метаданни, налични в Dublin Core инициативата за метаданни [3]. Това включва добавяне на веб интерфейс за промяна на тези данни. Към програмния интерфейс, предоставян от платформата, могат да се добавят нови веб услуги за извличане на данните в RDF формат, за да могат да се интегрират със семантично-ориентирани интелигентни агенти. Друга важна функционалност, която може да бъде добавена към платформата, е опция за търсене. След като се разширят

метаданните на обектите, могат да се имплементират секция в интерфейса за търсене от потребителите и веб услуга за програматично търсене.

## **ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

Основните научни и научно-приложни приноси на дисертацията са следните:

- Разработен е модел за визуализиране на триизмерни обекти в веб браузъра и управление на изгледа чрез стандартните входни устройства – мишка и клавиатура. Проучени са възможностите на JavaScript библиотеката C3DL за работа с 3D графики в веб браузър и jQuery библиотеката за разработка на веб страници. Изграден е софтуерен компонент за показване на единични триизмерни обекти в веб браузър без инсталация на допълнителен софтуер. За изграждане на приложението са използвани изследваните функционалности, предоставени от C3DL библиотеката и jQuery плъгин архитектурата за имплементиране и разпространение на сходна функционалност.
- Разработен е модел за описване на виртуални експозиции, състоящи се от един или повече триизмерни обекта, тяхното визуализиране в веб браузър и управление на изгледа посредством стандартните входни устройства. Изследвани са възможностите на Three.js библиотеката за постигане на 3D графики в веб браузър с помощта на JavaScript. С

използването на Three.js и jQuery библиотеките е изграден софтуерен компонент за визуализиране на предварително-дефинираните колекции, който позволява разглеждането им от първо лице чрез свободно движение във виртуалната сцена с мишката и клавиатурата. Освен пространствените характеристики на представените обекти, компонента дава възможност за показването на допълнителна информация за всеки един от тях, описана в HTML формат.

- Разработена е цялостна онлайн платформа за управление на виртуални колекции от триизмерни обекти. Системата позволява създаване, промяна, изтриване, публикуване и отмяна на публикацията на колекции от 3D обекти. Заложени са различни нива на достъп до функционалностите на платформата, разпределени между три групи от потребители. Изследвани и приложени са най-новите технологии за изграждане на уеб приложения, базирани на MVC архитектурата и HTML5 стандарта. Разработен е приложен програмен интерфейс към системата под формата на RESTful уеб услуги за достъп и работа с обектите в нея, които могат да бъдат използвани от друг софтуер. В допълнение са представени различни реални сценарии за използване на системата и уеб услугите, които тя предлага.
- Направено е аналитично изследване на най-новите методи и средства за представяне на 3D графики в уеб браузър и са посочени техните предимства пред технологиите от старото поколение. Разгледани са различни подходи за реализация на триизмерна анимация в уеб приложения, които не разчитат на инсталацията на допълнителен софтуер. Изследвани са съществуващи JavaScript библиотеки за работа с 3D графики в уеб браузър, използващи WebGL интерфейса от HTML5

стандарта и са описани начина на работа и основните сходства и различия между тях.

## **АПРОБАЦИЯ**

Авторът има следните научни публикации по темата на дисертационния труд:

1. Georgiev, V., 3D Rendering in the Web Browser, Proceedings of the Forty Second Spring Conference of the Union of Bulgarian Mathematicians, Borovetz, April 2–6, Bulgaria 2013
2. Georgiev, V., A Web Application for Creating and Presenting 3D Object Expositions, Proceedings of Fourth International Conference on Digital Presentation and Preservation of Cultural and Scientific Heritage, Veliko Tarnovo, September 18-21, Bulgaria 2014
3. Georgiev, V., Mitreva, E., 3D Environment for Virtual Collections, Proceedings of Third International Conference for Digital Presentation and Preservation of Cultural and Scientific Heritage, Veliko Tarnovo, September 18-20, Bulgaria 2013
4. Paneva-Marinova, D., Pavlova-Draganova, L., Draganov, L., Georgiev, V., Ontological presentation of analysis method for technology-enhanced learning, Proceedings of Compsystech 2012, Bulgaria 2012

5. Pavlova-Draganova, L., Georgiev, V., Draganov, L., Virtual encyclopaedia of the Bulgarian iconography, International Journal "Information Technologies and Knowledge" Vol.1, 2007

Част от резултатите от изследванията и разработките на тази дисертация са представени и публикувани в сборниците на:

- Национална конференция Информационни Изследвания, приложения и обучение, 2007, Варна, България
- Международна конференция Compsystech 2012, 22 – 23 Юни 2012, Русе, България
- 42-ра Пролетна Конференция на Съюза на Математиците в България, 2 – 6 Април, 2013, Боровец, България
- Трета международна конференция Digital Presentation and Preservation of Cultural and Scientific Heritage, 18 – 20 Септември, 2013, Велико Търново, България
- Четвърта международна конференция Digital Presentation and Preservation of Cultural and Scientific Heritage, 18 – 21 Септември, 2014, Велико Търново, България

Три от публикациите на автора по темата на дисертационния труд са цитирани общо 42 пъти.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bootstrap – The world’s most popular mobile-first and responsive front-end framework. - <http://getbootstrap.com/>
2. Canvas 3D JS Library - <http://www.c3dl.org/>
3. DCMI Home – Dublin Core Metadata Initiative - <http://dublincore.org/>
4. Displaying 3D models in PDFs, Acrobat Help, <http://helpx.adobe.com/acrobat/using/displaying-3d-models-pdfs.html>
5. Duchnik, R., jQuery Plugin Development in 30 Minutes: How to build jQuery plugins that are easy to maintain, update, and collaborate on, 2014, i30 Media Corporation
6. Fulton, S., Fulton, J., HTML5 Canvas, Second Edition, O’Reily Media, April 2013
7. Heldman, W., Adobe Flash Professional CS6 Essentials, Sybex, First Edition, 2012
8. HTML5 Working Draft – A vocabulary and associated APIs for HTML and XHTML. <http://www.w3.org/TR/html5/>
9. jQuery – Wikipedia - <http://en.wikipedia.org/wiki/JQuery>
10. Konstantinov, O., Kovatcheva, E., Fol, V., Discover the Thracians – An Approach for Use of 2D and 3D Technologies for Digitization of Cultural Heritage in the Field of E-learning. International Conference Digital Presentation and Preservation of Cultural and Scientific Heritage. pp. 167–171 (2012)



11. Model View Controller History -  
<http://c2.com/cgi/wiki?ModelViewControllerHistory>
12. Moritz, F. (2010), Potentials of 3D-Web-Applications in E-Commerce - Study about the Impact of 3D-Product-Presentations., in Tokuro Matsuo; Naohiro Ishii & Roger Y. Lee, ed., 'ACIS-ICIS' , IEEE Computer Society, , pp. 307-314
13. Parisi, T., WebGL: Up and Running, First Edition, O'Reilly Media, August 2012
14. three.js – Javascript 3D Library - <http://threejs.org/>
15. Wavefront .obj file – Wikipedia -  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Wavefront\\_.obj\\_file](http://en.wikipedia.org/wiki/Wavefront_.obj_file)
16. WebGL - OpenGL ES 2.0 for the Web, <https://www.khronos.org/webgl/>