



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У
НОВОМ САДУ



Милош Суботић

**Једно решење тродимензионалне
графичке корисничке спреге на
уграђеним системима заснованим на
Андроид платформи**

ДИПЛОМСКИ РАД
- Основне академске студије -

Нови Сад, Јун 2013



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР :	
Идентификациони број, ИБР :	
Тип документације, ТД :	Монографска документација
Тип записа, ТЗ :	Текстуални штампани материјал
Врста рада, ВР :	Завршни (Bachelor) рад
Аутор, АУ :	Милош Суботић
Ментор, МН :	проф. др Јелена Ковачевић
Наслов рада, НР :	Једно решење тродимензионалне графичке корисничке спреге на уграђеним системима заснованим на Андроид платформи
Језик публикације, ЈП :	Српски / латиница
Језик извода, ЈИ :	Српски
Земља публикавања, ЗП :	Република Србија
Уже географско подручје, УГП :	Војводина
Година, ГО :	2013
Издавач, ИЗ :	Ауторски репринт
Место и адреса, МА :	Нови Сад; трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, ФО : (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	7/28/0/1/2/0/0
Научна област, НО :	Електротехника и рачунарство
Научна дисциплина, НД :	Рачунарска техника
Предметна одредница/Кључне речи, ПО :	Тродимензионална графичка корисничка спрега, уграђени системи, дигитална телевизија
УДК	
Чува се, ЧУ :	У библиотеци Факултета техничких наука, Нови Сад
Важна напомена, ВН :	
Извод, ИЗ :	У овом раду приказано је једно решење тродимензионалне графичке корисничке спреге на уграђеним системима заснованим на Андроид платформи. Циљ рада је реализација тродимензионалног ефекта савијања странице и тродимензионалног ротационог менија. Приказана је реализација радног оквира за развој апликација са тродимензионалном графичком корисничком спрегом.
Датум прихватања теме, ДП :	
Датум одбране, ДО :	
Чланови комисије, КО :	Председник: проф. др. Никола Теслић
	Члан: мр. Милан Савић
	Члан, ментор: др. Јелена Ковачевић



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monographic publication
Type of record, TR :	Textual printed material
Contents code, CC :	Bachelor Thesis
Author, AU :	Milos Subotic
Mentor, MN :	Jelena Kovacevic, PhD
Title, TI :	One solution of three-dimensional graphical user interface for Android platform based embedded systems
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	Serbian
Country of publication, CP :	Republic of Serbia
Locality of publication, LP :	Vojvodina
Publication year, PY :	2013
Publisher, PB :	Author's reprint
Publication place, PP :	Novi Sad, Dositeja Obradovica sq. 6
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	7/28/0/1/2/0/0
Scientific field, SF :	Electrical Engineering
Scientific discipline, SD :	Computer Engineering, Engineering of Computer Based Systems
Subject/Key words, S/KW :	Three-dimensional graphical user interface, embedded systems, digital television
UC	
Holding data, HD :	The Library of Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia
Note, N :	
Abstract, AB :	This paper presents one solution of three-dimensional graphical user interface for Android platform based embedded systems. Goal of the work is implementation of three-dimensional page curl effect and three-dimensional rotation menu. Implementation of framework for development of application with three-dimensional graphical user interface is shown.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	President: Nikola Teslic, PhD
	Member: Milan Savic, MSc
	Member, Mentor: Jelena Kovacevic, PhD

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Teorijske osnove.....	3
2.1 Slučajevi korišćenja trodimenzionalne grafičke korisničke sprege.....	3
2.2 Postojeća i nova rešenja trodimenzionalne grafičke korisničke sprege.....	5
2.3 Trodimenzionalna grafika.....	5
3. Koncept rešenja.....	9
3.1 Arhitektura rešenja.....	9
3.2 Radni okvir.....	10
3.3 Nedostaci rešenja.....	11
4. Programsko rešenje.....	13
4.1 Detalji realizacije rešenja.....	13
4.2 Detalji realizacije radnog okvira.....	14
4.3 Detalji realizacije komponenti trodimenzionalne grafičke korisničke sprege.....	18
5. Rezultati.....	19
6. Zaključak.....	21
7. Literatura.....	22

SPISAK SLIKA

Slika 3.1 Arhitektura rešenja.....	10
Slika 4.2 Detalji realizacije rešenja.....	14

1. Uvod

U ovom radu je prikazano jedno rešenje trodimenzionalne grafičke korisničke sprege (engl. Three-dimensional Graphical User Interface - 3D GUI) na ugrađenim sistemima (engl. Embedded Systems). Cilj rada je realizacija trodimenzionalnog efekta savijanja stranice (engl. Page Curl Effect) i trodimenzionalnog rotacionog menija (engl. Carousel Menu). Krajnja platforma su digitalni TV prijemnici zasnovni na Android platformi, ali je omogućena prenosivost i na druge platforme. Realizovan je radni okvir (engl. Framework) za razvoj aplikacija sa trodimenzionalnom grafičkom korisničkom spregom kako bi se apstrakovale specifičnosti platformi i omogućila prenosivost rešenja.

Razlozi za realizaciju su prednosti trodimenzionalne grafičke korisničke sprege u odnosu na dvodimenzionalnu. Trodimenzionalna grafička korisnička sprega je korisnicima prirodnija, lakša za korišćenje [1], interesantnija i lepša. Takođe, moguće je mešanje trodimenzionalnih objekata sa drugim medijima kao što su tekst, slika i video sadržaj [2]. Korišćenjem grafičkog procesora (engl. Graphical Processing Unit - GPU) sa specijalizovanom fizičkom arhitekturom za trodimenzionalnu grafiku moguće je smanjenje potrošnje energije i smanjenje opterećenja centralnog procesora.

Rad je organizovan u nekoliko celina:

- Teorijske osnove – izloženi su slučajevi korišćenja trodimenzionalne grafičke korisničke sprege, prikazana postojeća rešenja i potreba za novim rešenjem, prikazane su osnove trodimenzionalne grafike na primeru OpenGL-a i osnove toka razvoja trodimenzionalne grafičke korisničke sprege.

- Koncept rešenja – opisana je arhitektura rešenja na najvišem nivou, radni okvir za razvoj aplikacija sa trodimenzionalnom grafičkom korisničkom spregom i neki nedostaci prikazanog rešenja.
- Programsko rešenje – opisani su detalji realizacije, detalji realizacije radnog okvira, detalji svakog od modula radnog okvira, veze sa pomoćnim bibliotekama i sistem za prevođenje, detalji realizacije efekta savijanja stranice i rotacionog menija.
- Rezultati – prikazani su rezultati testiranja.
- Zaključak – pokriva ispunjenost zadatka i budući rad.

2. Teorijske osnove

U ovom poglavlju su izloženi sučajevi korišćenja trodimenzionalne grafičke korisničke sprege, prikazana postojeća rešenja i potreba za novim rešenjem, prikazane su osnove trodimenzionalne grafike na primeru OpenGL-a i osnove toka razvoja trodimenzionalne grafičke korisničke sprege.

2.1 Slučajevi korišćenja trodimenzionalne grafičke korisničke sprege

Digitalna televizija nudi revolucionarnu platformu za kućnu zabavu budućnosti. Mnogi servisi i aplikacije su razvijeni zahvaljujući digitalnoj televiziji (engl. DTV), omogućavajući korisnicima zabavu bez presedana. Jednostavnim korišćenjem i pristupačnošću digitalnih TV prijemnika i širokim programom TV sadržaja digitalna televizija je pronašla široku publiku bez obzira na starost i zanimanje. Uspeh aplikacija zasnovanih na trodimenzionalnoj grafici u industriji personalnih računara motivisao je proizvođače TV prijemnika uvesti podršku za trodimenzionalnu grafiku u digitalnoj televiziji.

Pokretačka snaga industrije trodimenzionalne grafike na personalnim računarima su igre visokog kvaliteta čija je publika mala. Industrija računarskih uređaja je trenutno okrenuta široj publici što je uslovalo korišćenje trodimenzionalne grafike za razvoj velikog broja igara i aplikacija. Sve je veći broj aplikacija koje koriste trodimenzionalnu grafiku u svojoj grafičkoj korisničkoj sprezi. Istraživanja [1] su pokazala da je korisnicima prirodinija i lakša za korišćenje trodimenzionalna grafička korisnička sprega sa prirodnim (engl. Ecological) i realističnim rasporedom u odnosu na dvodimenzionalnu, pravilnu (engl. Regular) i slikovnu (engl. iconic). Osnovni razlog je jednostavnije pamćenje, uočavanje i pronalaženje trodimenzionalnih objekata u prostoru.

Neki od slučajeva korišćenja trodimenzionalne grafike za grafičku korisničku spregu na digitalnim TV prijemnicima:

- unapređenje menija korišćenjem trodimenzionalnih objekata sa animacijama umesto dvodimenzionalnih slika sa pravilan rasporedom čineći ih preglednijim i lakšim za korišćenje,
- trodimenzionalni efekti kao što je efekat savijanja stranice papira za zabavljanje korisnika tokom operacija koje iziskuju veće vreme za izvršenje (prebacivanje kanala na digitalnoj televiziji),
- ulepšan i interesantan prikaz dodatnih podataka (naziv i logo kanala, jačina zvuka u DTV),
- obogaćenje izgleda elektronskog programskog vodiča (engl. EPG) [3] trodimenzionalnim objektima uz druge medijime kao što su tekst, slika i video sadržaj [2].

Razlike u korišćenju personalnih računara i digitalnih TV prijemnika utiču na način razvoja trodimenzionalnih aplikacija. Osnovna razlika je korisnički ulaz gde se kod digitalnih TV prijemnika koristi daljinski upravljač umesto standardnog miša i tastature. Iako nije očigledno, daljinski upravljač jeste [3] veoma efikasno sredstvo za interakciju sa trodimenzionalnom grafičkom korisničkom spregom. Razlozi za to su:

- svi dugmići potrebni za upravljanje trodimenzionalnom grafičkom korisničkom spregom postoje i pritom su uočljiva,
- generacije daljinskih upravljača su korišćene od strane korisnika, tako da sličnost sistema omogućava lakše učenje kada se primeni na trodimenzionalnu grafičku korisničku spregu,
- korišćenje pokazivačkih uređaja zahteva realizaciju algoritma otkrivanja koji je trodimenzionalni objekat korisničke sprege pritisnut i interakcije sa istim.

Mana daljinskog upravljača je nedostatak dugmića koja bi se prirodno koristila za navigaciju kroz treću dimenziju. Takođe, razlika je udaljenost korisnika od ekrana monitora koja je veća u slučaju digitalnih TV prijemnika [2]. Veća udaljenost gledaoca znači manje detalja u kontekstu, manje resursa za iscrtavanje trodimenzionalnih objekata. Trodimenzionalni objekti i prirodan raspored objekata zauzimaju više mesta u poređenju sa dvodimenzionalnim ikonicama sa pravilnim rasporedom.

2.2 Postojeća i nova rešenja trodimenzionalne grafičke korisničke sprege

Nedostatak prethodnih rešenja [6] trodimenzionalnog efekta savijanja stranice je postojanje prekomernih zahteva za resursima centralnog procesora i nemogućnost korišćenja na ugrađenim sistemima, kao što su DTV prijemnici. Prethodne realizacije efekta savijanja stranice na ugrađenim sistemima nisu ispunjavale zahteve za performansom jer su bile realizovane u programskom jeziku Java i nisu adekvatno iskorišćenje mogućnosti OpenGL biblioteke za iscrtavanje grafike i grafičkog procesora. U ovom rešenju je efekat savijanja stranice je optimizovan korišćenjem C++ jezika i grafičkog procesora kako bi se smanjila potreba za resursima centralnog procesora i povećale performanse.

Realizacije trodimenzionalnih menija [7] su namenjene izmenjenoj realnosti (engl. Augmented reality) i virtuelnoj realnosti (engl. Virtual reality), a pažnja je najviše usmerena na način upravljanja menijem. U slučaju realizacije trodimenzionalnog rotacionog menija na digitalnim TV prijemnicima rešenje upravljanja menijem je trivijalno jer se za upravljanje koristi daljinski upravljač. U ovom radu prilikom realizacije trodimenzionalnog rotacionog menija najveća pažnja je posvećena razvoju i prikazu trodimenzionalnih modela sa animacijama.

2.3 Trodimenzionalna grafika

Za realizaciju ovog rada korišćena je OpenGL biblioteka za iscrtavanje trodimenzionalne grafike [4]. OpenGL biblioteka ima standardizovanu programsku spregu putem koje se može iscrtavati trodimenzionalna grafika korišćenjem grafičkog procesora. OpenGL je korišćen zbog svoje raširenosti na ugrađenim uređajima. Ugrađene platforme u svojim radnim okvirima kao što je Android obezbeđuju OpenGL biblioteku, a proizvođači ugrađenih uređaja obezbeđuju sistemsku programsku podršku i fizičku arhitekturu za OpenGL zbog otvorenosti, proširivosti i fleksibilnosti specifikacije. OpenGL se koristi u razvoju aplikacija zbog raširenosti, performansi i prenosivosti [5]. Takođe, čitave biblioteke i radni okviri grafičke korisničke sprege realizovane korišćenjem OpenGL-a (npr. BeGUI, Clutter, Kivy, WebGL/HTML5).

U prvobitnom obliku [4] OpenGL biblioteka je bila realizovana kao automat čija su stanja menjana pozivima funkcija. Stanja automata su uticala na parametre protočne strukture OpenGL-a za iscrtavanje trodimenzionalne grafike. Ovakav pristup je bio izabran zbog lakšeg preslikavanja na fizičku arhitekturu za trodimenzionalnu grafiku i mogućnosti udaljenog iscrtavanja na drugom računaru putem server-klijent mogućnosti. Novije verzije OpenGL-a su dodale korišćenje objekata na osnovu kojih je vršeno iscrtavanje kao i programabilnost fizičke

arhitekture za obradu trodimenzionalne grafike, ali je zadržana stara programska sprega zasnovana na promenama stanja. Neki od objekata koji se koriste u OpenGL-u su:

- Baferi čvorova (engl. Vertex Buffers) – su memorijski objekti u kojima se nalaze čvorovi koji određuju tačke, linije ili poligone trodimenzionalnih objekata. Čvorovi se sastoje od atributa kao što su pozicija, boja, normala na površinu, koordinate teksture. Memorijski sadržaj bafera se nalazi u grafičkoj memoriji gde aplikacioni kod nema pristupa, a putem OpenGL-a aplikacioni kod može da upiše čvorove u bafer i ih iscrtava po potrebi.
- Baferi indeksa (engl. Index Buffers) – su memorijski objekti u kojima se nalaze indeksi kojima se indeksiraju baferi čvorova i time odabiraju koji će se čvorovi iscrtati. Korišćenjem bafera indeksa se smanjuje zauzeće grafičkog memorijskog prostora jer je bafer čvorova manji, jer se ne ponavljaju pojedini čvorovi u baferu čvorova, nego se ponavljaju indeksi u baferu indeksa, a indeksi zauzimaju manje memorijskog prostora od čvorova.
- Teksture (engl. Textures) – su memorijski objekti u kojima se nalazi slika. Memorijski sadržaj teksture se nalazi u grafičkoj memoriji. Teksture se mapiraju (engl. Mapping) na poligone određene čvorovima na osnovu koordinata teksture. Takođe postoji mogućnost za stvaranje unapred decimiranih slika od osnove (engl. Mip-Maps) kako bi se smanjili artefakti prilikom filtriranja tekstura usled velikog stepena decimacije.
- Jedinica za mapiranje tekstura (engl. Texture Mapping Unit) – je apstrakcija specijalizovane fizičke arhitekture koja vrši filtriranje tekstura i omogućava njihovo mapiranje na poligone. Veći broj jedinica za mapiranje tekstura omogućava jednovremeno korišćenje većeg broja tekstura.
- Programi za senčenje (engl. Shaders) - su apstrakcija programa GLSL jezika za obradu grafike na grafičkom procesoru. GLSL jezik je specijalizovan jezik za trodimenzionalnu grafiku i omogućava programabilnost u nekim delovima iscrtavanja grafike, kao što su operacije na čvorovima i operacije na fragmentima (budućim pikselima). Korišćenje programa za senčenje omogućuje veću fleksibilnost u iscrtavanju trodimenzionalne grafike u odnosu na fiksnu protočnu strukturu OpenGL-a. Time se takođe omogućava iscrtavanje složenih efekata na grafičkim procesorima.

Najvažniji koncept OpenGL biblioteke je protočna struktura za iscrtavanje grafike. Na jednom kraju protočne strukture ulaze objekti za iscrtavanje i nizom transformacija se dobija

konačna slika. Neki delovi protočne strukture su programabilni, drugima se mogu podešavati parametri, dok su neki nepromenljivi od strane aplikacionog programera.

Najčešći algoritam za transformaciju trouglova u fragmente na grafičkom procesoru je rasterizacija (engl. Rasterization), ali neki grafički procesori na ugrađenim sistemima koriste algoritam bacanja zrakova (engl. Ray-casting) kako bi smanjili protok na memorijskoj magistrali.

Osnovni razlog za realizaciju ovih algoritama na grafičkom procesoru jeste visok nivo paralelizacije, pošto je moguće svaki čvor, fragment i piksel odvojeno obrađivati. Pravilnim korišćenjem OpenGL biblioteke i grafičkog procesora, kao i korišćenjem mogućnosti paralelizacije grafičkog procesora programiranjem određenih delova algoritma u GLSL jeziku za senčenje moguće je dobiti veće performanse aplikacija.

OpenGL standard specifiše koje funkcionalnosti su obavezne za određenu verziju OpenGL biblioteke. Postoje proširenja koja specifiše komitet za standardizaciju OpenGL-a, kao i proširenja koja specifišuju proizvođači grafičkog procesora. Funkcionalnosti OpenGL-a se ogledaju postojanju podrške za specifične OpenGL objekte, programabilnost određenih delova protočne strukture, podešavanja protočne strukture.

Nedostatak arhitekture OpenGL-a je postojanje stanja. Usled stanja celokupan rad OpenGL-a je vezan za OpenGL kontekst, a kontekst je vezan za jednu programsku nit i jedan bafer okvira (engl. Framebuffer). To onemogućava pozivanje OpenGL funkcija izvan niti u kojoj je stvoren kontekst. Ukoliko je potrebno izvršiti paralelizaciju to se može uraditi korišćenjem programerskog šablona vođe i radnika, gde radne niti vrše računanja i pripremaju podatke potrebne za iscrtavanje, kao što su slike za teksture, okviri video sadržaja, izračunati čvorovi za bafere, a jedna vodeća nit za koju je vezan OpenGL kontekst stvara OpenGL objekte na osnovu podataka pripremljenih od strane radnih niti i vrši iscrtavanje. Neke realizacije OpenGL-a omogućavaju postojanje jedne niti u kojoj se može vršiti iscrtavanje i više niti u kojima se mogu stvarati OpenGL objekti. Usled nepostojanja efikasnog raspoređivanja posla na grafičkom procesoru nije praktično imati više niti i konteksta koji istovremeno iscrtavaju, jer vreme raspolaganja grafičkim procesorom dodeljeno jednoj niti se meri sekundama.

Osnovni koncept koji se primenjuje prilikom razvoja trodimenzionalne grafike je deljenje posla između programera i dizajnera. Zadatak dizajnera je da u okviru alata za trodimenzionalno modelovanje izrade trodimenzionalne modele sa svim njihovim animacijama. Zadatak programera je izrada radnog okvira (engl. Engine) za iscrtavanje trodimenzionalne grafike, računanje fizike, animacija, i drugo. Radni okvir učitava modele, izračunava njihove animacije, interakciju među modelima, i iscrtava modele.

Kvalitetna grafička korisnička sprega treba da se odlikuje brzinom odziva. Poželjno je da se slika može iscrtavati 50 puta u sekundi (engl. Frames per Seconds), ali i da odziv na korisničke akcije bude ispod 100 milisekundi [8]. Iz tog razloga je veoma bitno za udobnost korisnika da grafička korisnička aplikacija ima dobre performanse. Uobičajen je zahtev da grafička korisnička sprega bude realizovana u mekom realnom vremenu (engl. Soft Real-Time).

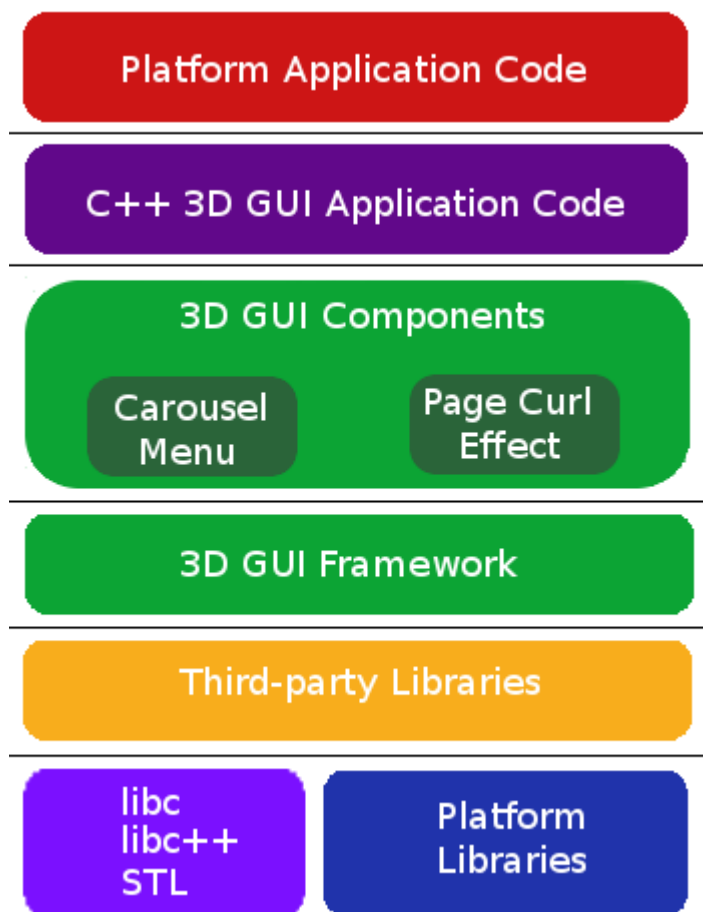
3. Koncept rešenja

U ovom poglavlju opisana je arhitektura rešenja, radni okvir za razvoj aplikacija sa trodimenzionalnom grafičkom korisničkom spregom i neki nedostaci prikazanog rešenja.

3.1 Arhitektura rešenja

Koncept rešenja podrazumeva da je rešenje realizovano kao zasebna programska celina koja se koristi kao vidljiva komponenta platformske biblioteke za grafičku korisničku spregu (eng. View, Widget) u okviru aplikacije. Preko programske sprege komponente platformske biblioteke za grafičku korisničku spregu upravlja inicijalizacijom OpenGL konteksta i iscrtavanjem u okviru istog. Ispod komponente se nazali aplikacioni kod trodimenzionalne grafičke korisničke sprege koji koristi komponente trodimenzionalne grafičke korisničke sprege. Neke od komponenti trodimenzionalne grafičke korisničke sprege su trodimenzionalni efekat savijanja stranice i trodimenzionalni rotacioni meni. Komponente trodimenzionalne grafičke korisničke sprege se oslanjaju na radni okvir. Radni okvir se oslanja na OpenGL biblioteku i druge pomoćne biblioteke. Celokupno rešenje je realizovano u C++ programskom jeziku i oslanja se na standardnu C i C++ biblioteku. Realizacija komponenti trodimenzionalne grafičke korisničke sprege je potupno platformski nezavisna.

Koncept rešenja trodimnezionalnog efekta savijanja stranice podrazumeva izračunavanje animacije pozicije ćoška stranice, a na osnovu rezultata se vrši izračunavanje mreže čvorova (engl. vertex mesh). Deo izračunavanja čvorova se izvršava na grafičkom procesoru. Prednja stranica je providna tako da na prednjoj stranici može videti video sadržaj, dok se na sledeće dve stranice mapiraju teksture.



Slika 3.1 Arhitektura rešenja

Koncept rešenja trodimenzionalnog rotacionom menija podrazumeva izracunavanje animacija pozicija stavki menija, i na osnovu rezultata se vrši iscertavanje trodimenzionalnih modela sa njima pridruženim animacijama.

3.2 Radni okvir

Zadatak radnog okvira je da apstrahuje specifičnosti platforme kako bi trodimenzionalne grafičke aplikacije bile prenosive preko velikog broja platformi.

Problemi vezani za korišćenje OpenGL biblioteke su:

- Specifičnosti verzija, smanjena funkcionalnost OpenGL-a na ugrađenim platformama.
- Greške programera u koracima.
- Nestabilnost grafičkih drajvera.
- Grafički procesori na ugrađenim sistemima su manjih performansi u odnosu na centralne procesore.

- Grafički procesori na ugrađenim sistemima imaju aritmetiku u pokretnom zarezu smanjene preciznosti.

Prethodni problemi su rešeni realizacijom radnog okvira:

- OpenGL objekti apstrahovani su korišćenjem objektno-orjentisanog programerskog šablona apstraktne fabrike. Na osnovi mogućnosti platforme konstruše se fabrika čijim putem se dalje dobijaju OpenGL objekti. Korišćenjem sprega realizacija je skrivena.
- Interne provere u okviru radno okvira da li je programer ispoštovao sve korake prilikom stvaranja i korišćenja objekata (engl. Self-checking).
- Korišćenje preprocesora za programe u GLSL jeziku za senčenje.
- Potrebno je napraviti kompromis šta treba računati na grafičkom procesoru, a šta na centralnom procesoru.

Upotrebom pomoćnih biblioteka omogućen je prenosiv način za učitavanje trodimenzionalnih modela, učitavanje slika, reprodukciju video sadržaja, iscrtavanje teksta.

Radni okvir je realizovan u C++ programskom jeziku. Korišćen je C++ jer je objektno-orjentisan jezik, a ustaljeno je korišćenje C++-a u programiranju trodimenzionalne grafike, tako da postoji velika količina koda i velik broj biblioteka koji se može koristiti za razvoj aplikacija sa trodimenzionalnom grafikom. Veza sa Java programskim jezikom je realizovana preko SWIG alata.

Koristi se SCons radni okvir za prevođenje čime je omogućen prenosiv i fleksibilan način za prevođenje na uniforman način. Korišćen je SCons, SCons kako bi se izbeglo duplo održavanje sistema za prevođenje na raznim platformama, jer sistem za prevođenje za Android operativni sistem nije moguće koristiti ni za koju drugu platformu, a opet običan make sistem je isuviše kompleksan da bi se podesio da radi za više platformi. SCons omogućava istovremeno prevođenje za razne platforme i arhitekture.

3.3 Nedostaci rešenja

Osnovni nedostatak rešenja jeste duže vreme razvoja trodimenzionalne u odnosu na dvodimenzionalnu grafičku korisničku spregu. Duže vreme razvoja se ogleda u nedostatku gotovih rešenja za trodimenzionalnu grafičku korisničku spregu, poteškoće pri projektovanju, pisanju, testiranju i ispravljanju grešaka u aplikacijama sa trodimenzionalnom grafikom.

Još jedan nedostatak je neophodnost dizajnera (modelara) u procesu razvoja, za izradu trodimenzionalne modele sa animacijama.

4. Programsko rešenje

U ovom poglavlju opisani su detalji realizacije, detalji realizacije radnog okvira, detalji svakog od modula radnog okvira, veze sa pomoćnim bibliotekama i sistem za prevođenje, detalji realizacije efekta savijanja stranice i rotacionog menija.

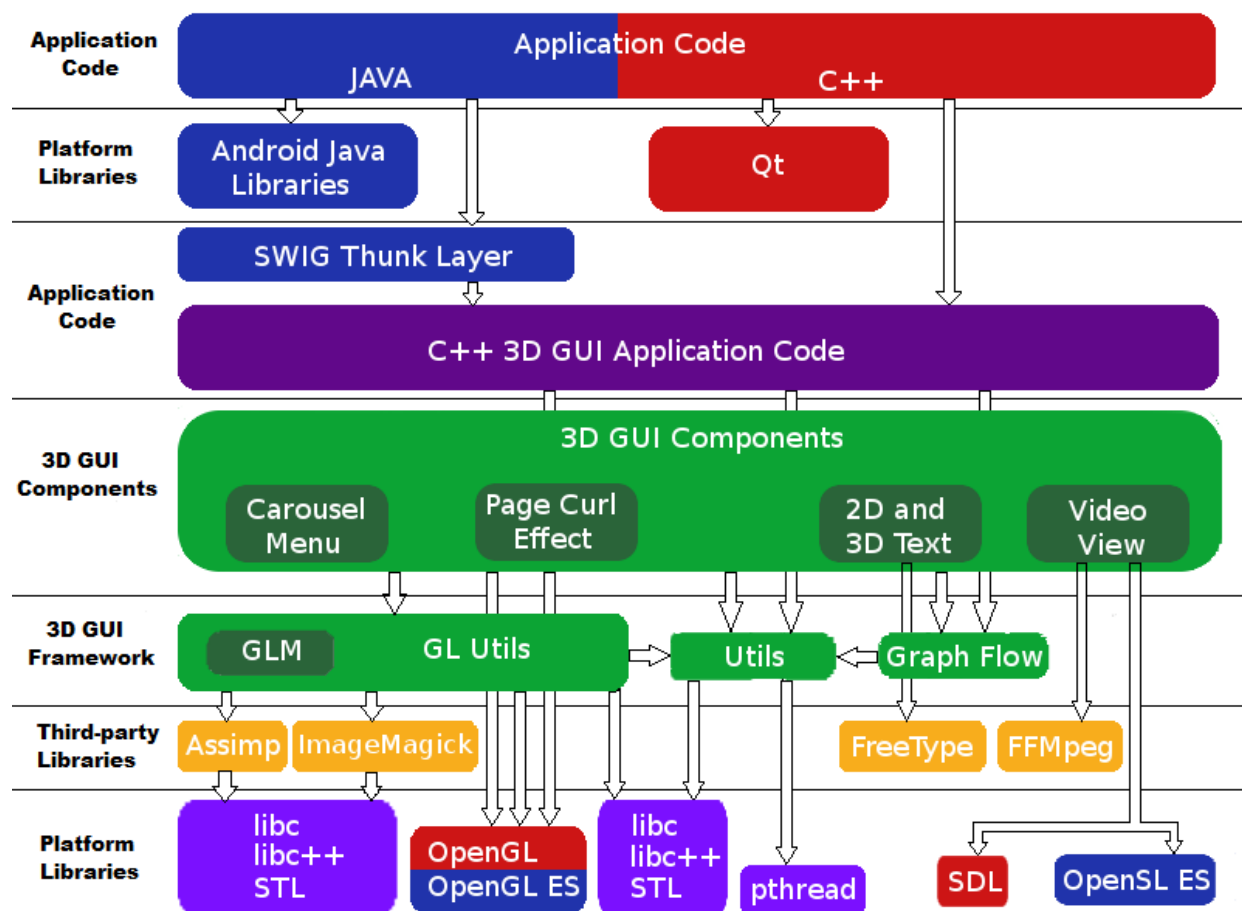
4.1 Detalji realizacije rešenja

Rešenje je realizovano platformama GNU/Linux sa x86_64 arhitekturom i Android sa arm i mips arhitekturom. Moguće je prenošenje i na druge platforme.

Rešenje je realizovano da se koristi kao vidljiva komponenta platformske biblioteke za grafičku korisničku spregu. Na Linux platformi je korišćena komponenta GLWidget iz Qt biblioteke za grafičku korisničku spregu, dok je na Androdi platformi korišćena komponenta GLSurfaceView. Komponente stvaraju OpenGL kontekst i niti za OpenGL, i rukovode iscrtavanjem.

Razlozi za realizaciju u C++ programskom jeziku a ne u Java programskom jeziku veća prenosivost i veće performanse C++ nad Javom. C++ jezik je ustaljen u upotrebi za trodimenzionalnu grafiku i brojne su biblioteke koje ga koriste. Performanse su veće jer C++ omogućava da se izvrše optimizacije mašinskog koda prilikom prevođenja, dok se Java bajt-kod interpretira, ali postoje i problemi vezani za same jezičke konstrukcije. Jedan od primera značajnog povećanja performansi je algoritam za računanje rešetke čvorova za trodimenzionalni efekat savijanja stranice. Za realizaciju tog algoritma korišćen je vektorski račun i korišćene su klase koje predstavljaju vektore. U Javi objekti koji predstavljaju vektore se alociraju na hipu, što dodatno usporva izvršavanje, a operacije nad vektorima se dobijaju pozivanjem metoda, čime se kod čini nepreglednijim. U C++-u objekti se nalaze na programskom steku i u registrima

procesora, koriste SIMD instrukcije za računanje, umesto metoda se koriste normalni aritmetički operatori i isti kod se može preneti sa minimalnim izmenama u GLSL jezik za senčenje.



Slika 4.2 Detalji realizacije rešenja

Za prenos rešenja na neku platformu potrebno je da platforma ima C++ prevodilac sa standardnim C i C++ bibliotekama koji podržava C++0x standard (ekvivalentno gcc-4.5.1), OpenGL biblioteku verzije ES 2.0 ili 3.0 ili više, pthread biblioteku ili neku drugu biblioteku za konkurentno programiranje ako C++ biblioteka ne podržava konkurentno programiranje, i platformsku biblioteku za grafičku korisničku spregu koja će moći koristiti rešenje. Sve ostale pomoćne biblioteke moguće je preneti.

Ovo rešenje sadrži približno 25000 linija koda.

4.2 Detalji realizacije radnog okvira

Osnovni moduli radnog okvira su:

- **utils** – modul koji apstrahuje i skriva realizaciju opštih funkcionalnosti, kao što su ispis poruka (engl. logs), pametni pokazivači, konkurentno programiranje, merenje vremena.

- GLUtils – modul koji apstrahuje funkcionalnosti OpenGL biblioteke, realizuje očitavanje trodimenzionalnih modela i preprocesor za programe u GLSL jeziku, sadrži GLM biblioteku za vektorski račun specifična trodimenzionalnoj grafici.
- Media – modul koji apstrahuje funkcionalnosti biblioteka za rad sa multimedijalnim sadržajem kao što slike, video sadržaj, font.
- ThirdPartyLibs – modul koji objedinjuje pomoćne biblioteke (Assimp, FFmpeg, ImageMagick) u jedan deljenju objektu datoteku.
- AmuseUberView – modul koji realizuje komponente trodimenzionalne grafičke korisničke sprege, među kojima su i efekat savijanja stranice i rotacioni meni, aplikativni i vezivni kod trodimenzionalne grafičke korisničke sprege (engl. Glue code) i vezu prema komponenti platformske biblioteke grafičke korisničke sprege.
- AmuseUberViewJNI – veza sa grafičkom korisničkom spregom Android platforme.
- AndroidJava – Kod u Java programskom jeziku vezan za Android platformu.
- AmuseUberViewLibrary – bibliotečki Android projekat koji objedinjuje celokupan radni okvir i komponentu grafičke korisničke sprege.
- AmuseUberViewFilesProvider – Android aplikacija koja služi kao uslužilac za datoteke potrebne za funkcionisanje rešenja.
- site_scons – radni okvir za prenosivo i fleksibilno prevođenje.
- demos – regresivni testovi i demonstracije.
- apps – aplikacije zasnovane na radnom okviru.

U daljem nastavku poglavlja opisani su detalji nekih modula i razlozi njihove realizacije.

Modul utils apstrahuje i skriva realizaciju opštih funkcionalnosti, kao što su ispis poruka (engl. logs), pametni pokazivači, konkurentno programiranje, merenje vremena.

Ispis poruka (engl. logs) je realizovan korišćenjem ostream klase iz standardne C++ biblioteke. Za svaki nivo važnosti postoji posebno instanciran objekat. U slučaju Linux platforme logovi se ispisuju na standardni izlaz i izlaz greške, dok u slučaju Android platforme poruke se presreću i ispisuju u sistem za poruke Android platforme sa odgovarajućom važnošću.

Realizovana je funkcionalnost pametnih pokazivača kako bi se pojednostavio postupak oslobađanja memorije i sprečilo curenje iste. Realizacija ostavlja mogućnost za korišćenje već

postojećih realizacija pametnih pokazivača. Trenutno se koristi realizacija pametnih pokazivača standardne C++ biblioteke.

Zbog nepotpunosti realizacije standardne C++ biblioteke na Android platformi ne postoji potpuno realizovana funkcionalnost za konkurentno programiranje. Stoga za Android platformu postoje realizovane klase, slične onima iz standardne C++ biblioteke, koje se oslanjaju na pthread biblioteku. Takođe postoje još neke dodatne funkcionalnosti koje ne postoje ni u C++ biblioteci.

Merenje vremena je apstrahovano i vrši se na nekoliko načina jer se pokazalo da nisu svi podržani i dovoljno precizni na svim platformama.

Ovaj modul se oslanja na standardnu C i C++ biblioteku i pthread biblioteku.

GLUtils modul apstrahuje funkcionalnosti OpenGL biblioteke, realizuje očitavanje trodimenzionalnih modela i preprocesor za programe u GLSL jeziku, sadrži GLM biblioteku za vektorski račun specifična trodimenzionalnoj grafici.

Iako je moguće znati verziju OpenGL-a u vreme prevođenja programa ipak nije moguće znati da li su sve funkcionalnosti realizovane sve dok se aplikacija ne izvrši na konkretnoj platformi. Iz tog razloga pristupljeno je apstrakciji funkcionalnosti OpenGL-a. Za apstrakciju funkcionalnosti OpenGL-a korišćen je objektno-orjentisani programerski šablon apstraktne fabrike (engl. Abstract Factory). Na osnovu verzije i mogućnosti OpenGL biblioteke na konkretnoj platformi, konstruiše se fabrike kojoj se pristupa preko sprege GLUtils::Context. Preko fabrike se dalje proizvode OpenGL objekti, kojima se rukuje preko sprege, a konkretna realizacija samih OpenGL objekata zavisi od mogućnosti platforme.

U okviru modula postoje automatizovane provere stanja modula i stanje OpenGL-a čime osigurava da programer ispoštuje sve korake protokola. Te provere se mogu isključiti u toku prevođenja nakon što se utvrdi da je rešenje validno, kako bi se ubrzao rad aplikacije.

Oslanjajući se na apstrahovane funkcionalnosti OpenGL u realizovane su klase za učitavanje i iscrtavanje trodimenzionalnih modela. Putem biblioteke Assimp se očitavaju trodimenzionalni model iz datoteke, dobijeni podaci se obrađuju tako što se čvorovi pakuju u bafer indeksa i bafer čvorova, skladište se animacije za kasnije računanje animacija, na osnovu imena datoteka slika očitavaju se teksture. Da bi se model iscrtao podešavaju se parametri GLSL programa, aktiviraju se teksture, izračunavaju se animacije na osnovu kojih se dodeljuju vrednosti kostima za animaciju, i vrši se iscrtavanje bafera.

GLM biblioteka se koristi za vektorski račun koji je svojevrsan trodimenzionalnoj grafici i OpenGL biblioteci. Algoritmi koji su napisani pomoću GLM biblioteke u C++ mogu se sa

minimalnim izmenama prebaciti u GLSL jezik za senčenje i u obrnutom smeru isto tako. Time se omogućava lak prenos računanja sa centralnog procesora na grafički procesor.

Ovaj modul se oslanja na utils i Media modul, standardnu C++, OpenGL i Assimp biblioteku.

Media modul na identičan način kao i GLUtils modul putem apstraktne fabrike apstraktuje funkcionalnosti biblioteka za rad sa multimedijalnim sadržajem kao što slike, video sadržaj, font. Pomoću biblioteke ImageMagick se očitavaju slike i učitavaju se u teksture. Putem FFmpeg biblioteke dekodira se video sadržaj, okviri video sadržaja se učitavaju u teksture. Korišćenjem FreeType biblioteke očitavaju se bitmape fontova (engl. Glyphs), na osnovu kojih se mogu napraviti teksture ili trodimenzionalna objekti za iscrtavanje slova. Apstrakcijom je postignuto da se mogu koristiti i alternativne biblioteke za rad sa multimedijalnim sadržajem.

Ovaj modul se oslanja na utils modul i standardnu C++, FFmpeg, ImageMagick, libpng, libjpeg i FreeType biblioteku.

Modul ThirdPartyLibraries objedinjuje pomoćne biblioteke (Assimp, FFmpeg, ImageMagick) u jedan deljenju objektnu datoteku.

Ovaj modul objedinjuje pomoćne biblioteke (Assimp, FFmpeg, ImageMagick) u jedan deljenju objektnu datoteku. Time je omogućeno brže povezivanje rešenja jer se pomoćne biblioteke ne povezuju direktno sa rešenjem prilikom prevođenja, nego kasnije u vreme izvršanja.

AmuseUberViewJNI modul ostvaruje vezu sa komponentom grafičke korisničke sprege Android platforme pravljenjem prilagodnog sloja između C++-a i Jave (engl. JNI) pomoću SWIG alata. Celokupan kod za prilagođavanje je automatski generisan na osnovu C++ klasi i malog konfiguracionog fajla.

AmuseUberViewFilesProvider aplikacija u svom assets direktorijumu sadrži datoteke potrebne za funkcionisanje rešenja. Prilikom pokretanja aplikacije startuje se uslužilac (engl. ServiceProvider), a glavna aplikacija sa rešenjem će preko AmuseUberViewLibrary biblioteke prilikom svog prvog pokretanja dobiti neophodne datoteke od uslužioca i sačuvati ih u svoj lokalni direktorijum. Ovim je postignuto brže spuštanje glavne aplikacije na platformu i smanjeno je vreme potrebno za rešavanje problema i ispravljanje grešaka na Android platformi.

Modul site_scons sadrži radni okvir za prenosivo i fleksibilno prevođenje putem SCons radnog okvira napisanog u Python programskom jeziku. Uz minimalna podešavanja moguće je istovremeno prevođenje za sve platforme i arhitekture. Osim osnovne funkcionalnosti

prevođenja C i C++ datoteka, postoji funkcionalnost za prenosivo prevođenje Make, Autotools i CMake paketa, čime je moguć prenos pomoćnih biblioteka na razne platforme.

4.3 Detalji realizacije komponenti trodimenzionalne grafičke korisničke sprege

Trodimenzionalni efekat savijanja stranice je realizovan kao komponenta trodimenzionalne grafičke korisničke sprege. Korisničkim akcijama se aktiviraju animacije za savijanje stranice. Efekat se iscertava tako što se na osnovu merenog vremena izračunava animacija pozicije ćoška stranice, a na osnovu rezultata se vrši određivanje delimično (dvodimenzionalno) određuju pozicije čvorova i koordinate tekstura. Čvorovi se sa pakuju u bafer čvorova, koji se iscertava. U GLSL programu se izračunavaju trodimenzionalne pozicije čvorova i normale na površinu i mapiraju se texture. Time je jednim delom rasterećen centralni procesor računanja tačne pozicije svakog čvora.

Trodimenzionalni rotacioni meni je realizovan kao komponenta trodimenzionalne grafičke korisničke sprege. Korisničkim akcijama se aktiviraju animacije pomeranja menija. Prilikom iscertavanja na osnovu merenog vremena izračunava se animacija pozicija stavki menija čiji rezultat je globalna pozicija stavke menija. Stavka menija je predstavljena običnom slikom sa jednostavnom animacijom okretanja, ili trodimenzionalni modelom sa svojom animacijom. Animacija stavke menija se izračunava i na osnovu svih rezultata iscertava se konačni trodimenzionalni objekat.

Osim trodimenzionalnog efekta savijanja stranice i trodimenzionalnog rotacionog menija takođe su realizovane komponente trodimenzionalne grafičke korisničke sprege. Među komponentama se izdvajaju komponenta za regresivno ispitivanje funkcionalnosti radnog okruženja, prikaz video sadržaja, prikaz trodimenzionalnih modela.

5. Rezultati

Realizacija radnog okvira je omogućila razvoj aplikacija sa trodimenzionalnom grafičkom korisničkom spregom na raznim platformama na uniforman način.

Realizacija je ispitana regresivnim ispitivanjem (engl. Regression Testing), izvršavanjem aplikacije sa određenim brojem komponenti trodimenzionalne grafičke korisničke sprege na platformama GNU/Linux sa x86_64 arhitekturom i Android sa arm i mips arhitekturom, čime je delimično pokriven celokupan kod. Treba pritom napomenuti da mnogi delovi koda su dostupni samo na nekim platformama, tako da celokupna pokrivenost koda nije moguća. Treba napomenuti da radni okvir uvek proverava svoje stanje i stanje OpenGL-a čime osigurava da programer ispoštuje sve korake protokola (engl. Self-checking).

Korišćenjem C++ jezika i grafičkog procesora sa specijalizovanom fizičkom arhitekturom za trodimenzionalnu grafiku smanjeno je opterećenje centralnog procesora.

Realizacijom efekta savijanja stranice u C++-u umesto u Javi dalo je povećanje performansi u vidu smanjenja opterećenja centralnog procesora, ali realizacija algoritma generisanja i računanja čvorova na grafičkom procesoru nije značajno povećalo performanse i pri tom je potrošeno mnogo vremena za realizaciju istog.

Upotreba OpenGL biblioteke omogućila je iscrtavanje trodimenzionalne grafike. Iscrtavanje slika pomoću OpenGL tekstura umesto iscrtavanje slika u bitmapu preko Androidovog API-ja i Skia biblioteke omogućilo je korišćenje specijalizovane jedinice fizičke arhitekture u okviru grafičkog procesora za mapiranje tekstura (engl. Texture Mapping Unit), čime je smanjeno opterećenje centralnog procesora.

Treba napomenuti da OpenGL standard ne zahteva da realizacija iscrtavanja preko OpenGL bude tačna na nivou piksela, tako da realizacija ne izgleda u potpunosti isto na svim

platformama. Još treba napomenuti da usled ograničene preciznosti grafičkih procesora na ugrađenim sistemima postoji mogućnost javljanja greške prilikom iscertavanja.

6. Zaključak

U ovom radu je prikazano jedno rešenje trodimenzionalne grafičke korisničke sprege. Cilj realizacije su bili trodimenzionalni efekat savijanja stranice i trodimenzionalni rotacioni meni. Realizacija efekta savijanja stranice u C++ programskom jeziku i optimizacija korišćenjem grafičkog procesora povećala je performanse. Realizovan je radni okvir kojim su aptraktovane specifičnosti platforme i omogućna prenosivost rešenja. Izvršeno je regresivno ispitivanje na platformama GNU/Linux sa x86_64 arhitekturom i Android sa arm i mips arhitekturom, čime je delimično izvršeno pokrivanje koda. Rezultati merenja performansi su pokazali da su performanse grafičkih procesora na ugrađenim sistemima daleko manje od performansi grafičkih procesora na grafičkim karticama za personalne računare.

Dalji razvoj će biti usmeren na trodimenzionalnoj realizaciji elektronskog programskog vodiča (engl. EPG) [3], liste sadržaja (engl. Content List) i drugih delova grafičke korisničke sprege. Poboljšanje radnog okvira bi bilo ubacivanje podrške za trodimenzionalni tekst i mogućnost podešavanja izgleda trodimenzionalne grafičke korisničke sprege pomoću konfiguracionih datoteka. Trodimenzionalni efekta savijanja stranice biće poboljšan time što će se video sadržaj iz dekodera iscrtavati u OpenGL-u pomoću texture, kako bi se dobila veća realističnost efekta. Da bi to bilo omogućeno potrebno je izmeniti programsku podršku za video dekodiranje i OpenGL biblioteku, kako bi se izlazni bafer video dekodera mogao koristiti kao tekstura, a takođe je potrebno rešiti problem zaštićenosti video sadržaja, jer OpenGL omogućava čitanje piksela iz bafera okvira (engl. Framebuffer).

7. Literatura

- [1] Attila Barsi, Zsolt Nagy, Emmanuel Tsekleves, Nicolas de Abreu Pereira, Oliver Pidancet, Matthias Laabs, Michael Meier, “*3D GUI Design and Development*,” VIVANT, UK, Rep. 248420, 2012.
- [2] Wendy Ark, D. Christopher Drayer, Ted Selker, Shumin Zhai, “*Representation Matters: The Effect of 3D Objects and a Spatial Metaphor in a Graphical User Interface*,” in *People and Computers XII*, British Computer Society, UK, pp. 209-219, 1998.
- [3] Yongjun Zhang, “*A Java 3D Framework for Digital Television Set-top Box*,” Master's thesis, Department of Computer Science and Engineering, Helsinki University of Technology, Helsinki, Finland, 2003.
- [4] Dave Shreiner, Tom Davis, Mason Woo, Jackie Neider, OpenGL Architecture Review Board, “*OpenGL Programming Guide*,” Addison-Wesley, USA, 2006.
- [5] Mark Segal, Kurt Akeley, “*The Design of the OpenGL Graphics Interface*,” Silicon Graphics Computer Systems, Mountain View, USA, 1994.
- [6] Veronica Liesaputra, Ian H. Witten, “*Computer Graphics Techniques for Modeling Page Turning*,” Department of Computer Science, University of Waikato, Hamilton, New Zealand, 2007.
- [7] Raimund Dachsel, Anett Hübner, “*Three-dimensional menus: A survey and taxonomy*,” *Computers & Graphics, Volume 31, Issue 1, pp 53-65, January 2007*.
- [8] Jakob Nielsen, “*Usability Engineering*,” Morgan Kaufmann, San Francisco, USA, 1993.