

UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO,
RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Luka Horvat

**DOBRE PRAKSE PRI RAZVOJU
RAČUNALNIŠKIH IGER**

Magistrsko delo

Maribor, februar 2018

Dobre prakse pri razvoju računalniških iger

Magistrsko delo

Študent: Luka Horvat

Študijski program: Študijski program 2. stopnje

Računalništvo in informacijske tehnologije

Mentor: doc. dr. Matej Črepinšek

Tukaj pride sklep o potrjeni temi.

Dobre prakse pri razvoju računalniških iger

Ključne besede: beseda1

UDK: 123

Povzetek

Povzetek do maksimalne dolžine 100 besed

Dobre prakse pri razvoju računalniških iger

Key words: word 1

UDK: 123

Abstract:

Povzetek do maksimalne dolžine 100 besed

Kazalo

1	Uvod	1
2	Pregled in opis glavnih korakov razvoja	3
2.1	Opis problema	3
2.2	Koncipiranje igre	5
2.3	Potek razvoja igre	6
2.4	Marketing in viri občinstva	8
2.5	Možnosti izdaje igre	9
3	Orodja za izdelavo iger	13
3.1	Načrtovanje in vodenje razvoja	13
3.1.1	Organizacija ljudi in opravil	13
3.1.2	Organizacija projekta in kode	15
3.2	Orodja za izdelavo grafičnih gradnikov	17
3.2.1	2D grafični gradniki	17
3.2.2	3D grafični gradniki	19

3.3	Orodja za izdelavo zvočnih gradnikov in glasbe	19
3.4	Računalniške knjižnice, ogrodja in pogoni	21
3.4.1	Nizkonivojske knjižnice	22
3.4.2	Visokonivojske knjižnice in ogrodja	25
3.4.3	Namenski pogoni	27
4	Razvoj računalniške iger	29
5	Sklep	31
	Literatura	36

Slike

2.1	Koraki razvoja igre	6
3.1	Kanban tabla. Vir [25]	13
3.2	Primer Trello table.	14
3.3	Primer HackNPlan table.	15
3.4	Primer grafa sprememb Raylib projekta na GitHub-u.	16
3.5	Razlika v stilih 2d grafičnih gradnikov. Vir [22]	18
3.6	Blender programski paket	19
3.7	Program Bfxr	20
3.8	Program LMMS med izdelavo skladbe	21

1 Uvod

Računalniške igre so ena izmed največjih panog v zabavišni industriji. Skozi leta pa se njihov delež samo povečuje. Dandanes se je že skoraj vsak posameznik srečal z računalniškimi igrami, ali jih neposredno igra v svojem prostem času, ali pa so se posredno vključile v kulturo okoli posameznika. Računalniške igre in še posebej like iz njih velikokrat vidimo v drugih medijih kot so filmi, serije, reklame ter tiskano gradivo. Kdo pa si danes pod imenom Mario ne predstavlja vodovodarja v rdečem kombinezonu ter velikimi brki?

Računalniške igre privabljajo vedno več podjetij in individualnih razvijalcev, ki poskušajo zavzet svoj prostor v tej industriji. Samo izdelovanje računalniških iger pa uvrstimo pod razvoj programske opreme, ki je izredno kompleksen in zahteva potrebna znanja iz več različnih panog. Napredek tehnologije pa je že skoraj vsakemu posamezniku omogočil preprost vstop v ta proces. Dandanes je na voljo toliko različnih orodij, knjig, procesov in ustaljenih praks, ki so na voljo posamezniku, vendar se v oceanu podatkov hitro izgubijo. Tako smo si kot cilj tega magistrskega dela zadali poiskati, opisati in preizkusiti dobre ter priporočene prakse pri razvoju računalniških iger. Zajeli smo celoten spekter procesa, od same začetne ideje do izdaje igre na trg. Večji del magistrskega dela smo posvetili bolj tehnološko usmerjenim procesom pri izdelavi računalniške igre, pri čemer smo prikazali različna orodja in prakse, ki so dandanes na voljo.

TODO Povzetek poglavij.

2 Pregled in opis glavnih korakov razvoja

2.1 Opis problema

Razvoj računalniških iger je proces razvoja programske opreme. Obenem je kreativen proces v katerem sodeluje širok spekter ljudi iz različnih panog. Glavne vloge v tem procesu so [31]:

- **Programer:** je odgovoren za tehnično implementacijo računalniške igre. Odvisno od velikosti projekta in končnega cilja uporablja obstoječe namenske pogone za razvoj računalniških iger (npr. Unity ali Unreal Engine) ali implementira "*in-house*" pogon za to specifično igro. Tukaj pridejo v poštev različna znanja iz 2D in 3D grafike, fizike, umetne inteligence, uporabniških vmesnikov, računalniških mrež, ipd. Obenem je še potreben ves spekter računalniškega znanja, ki se navezuje na principe specifične za računalniške igre.
- **Umetnik:** je odgovoren za izdelavo vseh grafičnih gradnikov. Določeni umetniki izrisujejo samo konceptne slike in s oblikovalcem poskusijo definirat končni cilj igre, kako bo igra izgledala, kaki bodo glavni liki, ipd. Preostali umetniki pripravljajo gradnike, ki se nato uporabijo v sami računalniški igri. To so lahko grafični gradniki za menije, 3D modeli objektov, teksture za le-te modele, vizualni efekti, animacije, ipd.
- **Oblikovalec:** je odgovoren za koncipiranje in definiranje računalniške igre. Išče in definira ideje, ki bodo in so pomembne za igro. Pomembna vrlina je, da je zmožen te ideje dobro komunicirati preostali ekipi, da jo le-ti potem uresničijo.

Določeni oblikovalci se lahko osredotočijo na specifične aspekte igre, kot so stopnje v igri in določeni sistemi (npr. sistem bojevanja). Specifična panoga oblikovalca je tudi pisatelj. On je odgovoren in napiše zgodbo za igro. Včasih je sama zgodba rdeča nit in je glavna gonilna sila za nastanek igre, drugič pa se zgodba komaj oblikuje skozi nastanek končnega produkta.

- **Skladatelj in oblikovalec zvoka:** je odgovoren za vse zvočne gradnike igre. Skladatelji pripravljajo glasbo v igri. Dandanes pri večjih projektih sodelujejo tukaj celotni orkestri. Oblikovalec zvoka pa je odgovoren za različne krajše zvoke, ki se prožijo ob določenih akcijah (npr. streli orožij).
- **Preizkuševalec:** testira produkt skozi vse faze razvoja in daje povratne informacije drugim razvijalcem za izboljšanje produkta. Zagotavlja kakovost igre, da bo ta izšla brez hujših napak.

Poleg naštetih vlog je še veliko drugih na področju izdajanja igre, vodenje ekipe, marketinga ipd. vendar so zgornje najbolj pomembne pri samem razvoju igre. Znanja, ki jih te vloge premorejo so pomembne za razvoj vsake igre. Če gre za večji projekt, potem je potrebnih več ljudi v vsaki vlogi. Dandanes pri velikih podjetjih sodeluje preko sto ljudi pri razvoju iger. Na trgu pa obstaja tudi velika scena individualnih razvijalcev, ki sami premorejo vsa potrebna znanja za razvoj in tako uresničijo razvoj svoje igre.

V tem magistrskem delu smo se posvetili individualnemu razvoju računalniške igre, in prakse, ki temu pristopu najbolj ustrezajo. Kot posamezni razvijalec je potrebno uporabiti znanja iz različnih panog, zato smo s tem delom poskusili zaobjeti prakse, ki bi olajšale le ta proces. V delu smo našli in opisali različna orodja in procese za vsak korak v razvoju. Glavni koraki razvoja so sledeči: koncipiranje in definiranje igre, planiranje in vodenje dela, tehnični razvoj igre (tukaj pride v poštev izdelava grafičnih in zvočnih gradnikov ter implementacija), oglaševanje in viri občinstva ter na konci izdaja igre.

2.2 Koncipiranje igre

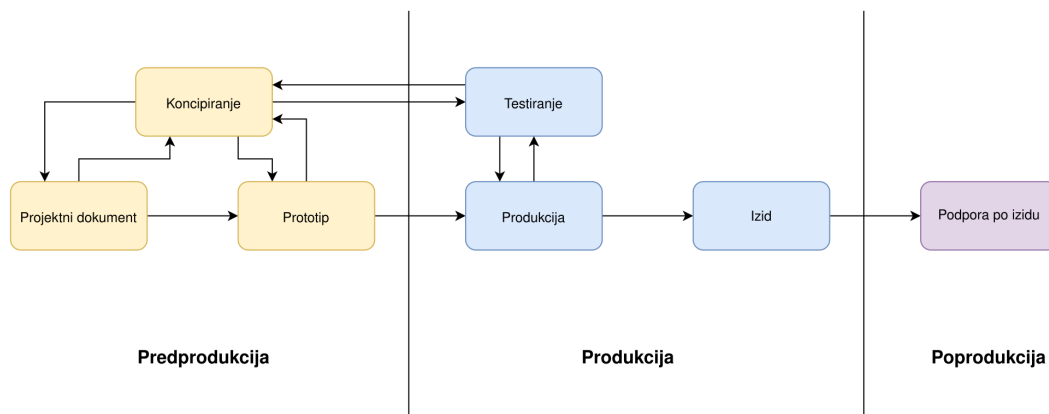
Prvi korak razvoja igre je definirat, kaj hočemo ustvarit. Lahko, da ima nekdo svojo sanjsko idejo, ki jo hoče uresničiti. Drugim se nenadoma prikrade ideja, ki jo potem razvijejo v delujoč produkt. Velikokrat pa je potrebno vložiti delo, da samo definiramo originalno idejo igre. Studiji, katerim je razvoj iger glavni vir prihodka, se ne morejo zanašati na naključne ideje. Obenem je izvirna in dobro premišljena ideja pomembna, če hočemo kot individualna oseba razviti svojo igro, saj je trg danes zelo nasičen in je prvi vtis zelo pomemben. Spodaj smo našli nekaj načinov, kako vzpodbuditi ustvarjalnost in poiskati novo idejo za igro [31]:

- **Igranje obstoječe (slabe) igre.** Igre konstantno gradijo na idejah in mehanikah obstoječih iger. Dodajajo se novi koncepti in pravila, ki iz starih idej zgradijo nove izkušnje. Za vsako komercialno igro se lahko našteje ducat drugih, ki so služile kot navdih in podlaga za njo. Tako je dober način za iskanje idej igranje že obstoječih. Še boljše je igranje slabih iger in razmisliti, kaj bi spremenili, da bi izkušnjo izboljšali. Tako iteriramo na obstoječih rešitvah, da definiramo nekaj boljšega.
- **Branje tematike izven osebnega zanimanja.** Razširjanje osebnega obzorja znanja in izkušenj je vedno dober vir novih idej. Velikokrat je problem pri igranju, da so si preveč podobne. Dandanes se zelo pogosto dogaja, da vsi poskusijo kopirati idejo z nove uspešne igre. Zato je pomembno, da raziščemo tematike, ki jih ne poznamo najbolje in poskusimo tam najti nove ideje.
- **Udeleževanje konferenc in predavanj.** Konference so vedno polne različnih ljudi z novimi idejami. V takem okolju hitro najdemo inspiracijo, ki jo potem izkoristimo za razvoj nove ideje.
- **Brainstorming.** Uveljavljena praksa iskanja novih idej. Pomembno je, da zberemo ljudi iz različnih področij in se držimo glavnega pravila: poudarek je na količini idej, ki se ne obsojajo [28]. Tako poskusimo raziskati čim več idej, ki so lahko prvotno napačne, na katerih nato gradimo vedno boljše rešitve.

Pri iskanju ideje je pomembno, da se zavedamo svojih omejitev. Če smo posameznik, ki hoče uresničiti svojo prvo igro, potem je priporočljivo, da začnemo z preprostimi idejami. Take igre lahko potem uresničimo in postopoma povečujemo obsežnost naslednjih iger. Veliko posameznikov namreč začne z preveč ambicioznimi idejami, ko pa je potrebno projekt dejansko uresničiti pa pride do komplikacij in večinoma do zaključitve projekta.

2.3 Potek razvoja igre

Razvoj igre skoraj vedno poteka po določenih korakih, neodvisno od ideje. Glavni mejniki procesa so [21]:



Slika 2.1: Koraki razvoja igre

1. **Projektni dokument.** Tukaj preide ideja iz glave na fizični medij. Proces je zelo odvisen od velikosti projekta in studia. Pri večjih projektih nastane dejanski dokument, v katerem se definira ideja, kake bodo mehanike igre, zgodba, liki, razporeditev sredstev, predviden čas izdelave, ipd. Dokument je velikokrat tudi opremljen z konceptnimi slikami, ki jih pripravijo umetniki. S tem dokumentom je potem najlažje komunicirati vizijo preostalim ljudem v ekipi. Pri manjših idejah in posameznikih je ta korak bolj direkten. Ustvarijo se kake skice in krajši opisi, ampak večinoma pa se ta korak preskoči in je večji poudarek na prototipu.

2. **Prototip.** Je najpomembnejši korak v procesu razvoja igre. Sama definicija pomeni razvoj osnovnega produkta, ki je ustvarjen z namenom testiranja koncepta [9]. Glavni namen je preizkusiti, ali je glavna ideja igre dovolj dobra, da iz nje nastane končni produkt. Prototipiranje je zelo povezano z samim koncipiranjem in projektnim dokumentom. Tukaj se identificirajo pomanjkljivosti, ki jih je potrebno razčistiti in mogoče znova koncipirati, ter prednosti, ki jih je potrebno poudariti v končnem produktu. Dober prototip je odličen mejnik v razvoju, ki se uporablja kot izhodiščna točka za začetek pravega projekta. Obenem služi kot prikaz koncepta možnim investitorjem, ki bi hoteli vložiti v projekt.
3. **Produkcija.** Je glavni del razvoja projekta. Sodelujejo vsi člani ekipe opisani v poglavju 2.1. Konstantna komunikacija med razvijalci, preizkuševalci in oblikovalci pelje projekt skozi faze razvoja programske opreme: *pre-alpha*, *alpha*, *beta*, *release candidate*, *live release (gold)*. Odvisno od projekta, se lahko studio odloči, da izdajo produkt končnim uporabnikom še v fazi razvoja. Tako postanejo uporabniki del preizkuševalcev, ki pomagajo pri razvoju projekta.
4. **Izid.** Pomeni konec glavnega procesa razvoja. Igra se zapakira in distribuira do končnih uporabnikov preko posrednikov. Ker mine kar nekaj časa od verzije, ki jo razvijalci dajo distribuira na fizičnih medijih, do dejanskega izida, je danes ustaljena praksa prenos popravkov preko spleta na dan izida. Nekoč se je tukaj razvoj igre zaključil, razvijalci pa so prehajali na naslednji projekt. Dandanes pa izid pomeni le še en mejnik v samem življenjskem ciklu igre.
5. **Podpora po izidu .** Tako imenovan *post production* v angleščini postaja danes vedno večji faktor. Razvoj igre je veliki finančni podvig, ki največ sredstev terja do izida igre. Zato se veliki studii raje posvetijo izdani igri z nadaljnjo podporo. Začel se je uporabljati termin igre kot storitev (angl. *games as a service*). Studii podpirajo igro še vrsto let z novimi vsebinami, popravki ter včasih korenitimi spremembami s ciljem maksimirati dobiček. Konstantna komunikacija z ciljno publiko je pomembna, saj tako identificirajo, kaj si igralci želijo novega v igri.

Zgornji koraki so vidni v sliki 2.1. Kot vidno je proces razvoja, testiranja in koncipiranja

zelo povezan, saj se igra konstantno izboljšuje.

2.4 Marketing in viri občinstva

Uspešna izdaja računalniške igre je zelo odvisna od marketinga pred izidom. Brez marketinga je zelo težko, da bo kdo našo igro opazil, kaj šele kupil. Samo na igralni platformi Steam letno izide več kot 6000 iger [8]. V tej množici je pomembno, da naša igra izstopa in prav tukaj je zelo pomemben marketing že v zgodnjih fazah razvoja. Dober začetek marketinga je, ko lahko pokažemo glavne koncepte igre. Velikokrat so to slike ali videi igre v gibanju, ki pritegnejo končnega uporabnika [13].

Obstaja veliko različnih načinov marketinga. Spodaj naštetih so dandanes že skoraj obvezni, če hočemo uspeti na trgu [13]:

- **Spletna stran.** Vsaka igra potrebuje svojo spletno stran. Brez le-te bo težko končna publika našla dodatne informacije o igri. Pomembno je, da stran vestno posodabljammo z opisom koncepta igre, slikami, videi, ipd. Ena možnost za hitro postavitev strani je *presskit()*¹, prosto dostopen paket za enostavno stran za računalniško igro.
- **Blog.** Dober vir marketinga in občinstva je blog, kjer opisujemo potek razvoja igre. Veliko igralcev zanima, kako poteka razvoj in v katerem stanju se igra trenutno nahaja. Je tudi dober vir povezovanja z drugimi razvijalci, ki bi jih mogoče zanimalo sodelovanje na projektu. Paziti moramo le, da ne pretiravamo z objavami, saj ni vsak napredek v razvoju vreden omembe.
- **Socialni mediji.** Dandanes skoraj največja možnost pridobitve ciljnega občinstva so socialni mediji. Dobra stran igre na Facebook-u in kratke objave zanimive na Twitter-ju doprinešajo veliko. Socialna omrežja ponujajo tudi svoj plačljiv marketing s katerim lahko ciljamo specifično publiko, ki bi se zanimala za našo igro.

¹<http://dopresskit.com/>

- **Konference.** Vsako leto poteka več konferenc, kjer se razvijalci predstavijo s svojimi igrami. Na konferenci se obrne veliko igralcev in različnih medijev, ki zelo pripomorejo k marketingu igre. Tri izmed večjih takih konferenc so Pax², IndieCade³ in Indie Mega Booth⁴. V Sloveniji je največja konferenca SGC⁵.
- **Množično financiranje (angl. crowdfunding).** Danes vedno bolj popularen način zbiranja sredstev in občinstva za razvoj igre. Preko strani kot je Kickstarter predstavimo svojo vizijo in načrt razvoja, ter tako poskusimo doseči igralce, ki bi jih zanimala naša igra. Ti pa lahko nato financirajo razvoj.
- **Napovednik (angl. trailer).** Ko se igra začne bližati zaključnim fazam razvoja je dobro izdelati napovednik, ki se bo potem uporabil na platformah, kjer bomo igro izdali. V napovedniku je pomembno, da prikažemo glavni koncept igre in da smo iskreni. Zavaajajoči napovedniki lahko ustvarijo večjo začetno zanimanje vendar po izidu hitro pritegne slabo kritiko.

2.5 Možnosti izdaje igre

Opisali smo nekaj možnosti, ki so nam na voljo za izdajo igre kot individualnemu razvijalcu. Večina teh možnosti predvideva, da nimamo svojega distributerja in so zato najbolj primerne za manjše projekte:

- **Steam.** Največja platforma za digitalno distribucijo računalniških iger. Omogoča izgradnjo svoje strani za našo igro z vsemi potrebnimi informacijami. Sama platforma poskrbi za distribucijo, namestitve, posodobitve, varnostno kopijo shranjenih iger, glasovno komunikacijo v igri ipd. Na voljo je na vseh večjih operacijskih sistemih kot so Windows, OSX in Linux. Če se odločimo, da bomo našo igro izdali na Steam platformi, nam Steam ponudi implementacijo njihovega SDK,

²<http://www.paxsite.com/>

³<http://www.indiecade.com/>

⁴<http://indiemegabooth.com/>

⁵<http://sgc.si/>

ki nudi proti-piratsko rešitev, mikro transakcije, oblačne storitve, dosežke ipd. Cena za izdajo igre je 100 evrov, provizija za vsako prodano kopijo igre pa je 30% [33].

- **Itch.io.** Zelo popularna rešitev za individualne razvijalce, saj ne stane nič, da svojo igro dodamo na njihovo platformo. Podobno kot Steam ponujajo izgradnjo svoje strani za igro ter aplikacijo, ki skrbi za namestitve in posodobitve. Platforma ne ponuja svoj SDK, ki bi nudil dodatne funkcionalnosti. Možno je nastaviti minimalno ceno igre, kupci pa lahko po želji plačajo več. Provizija je 10% od vsakega nakupa, po želji pa lahko povečamo ta delež [20].
- **Humble Bundle.** Ponuja tri vrste prodaje skozi njihovo platformo. Prva možnost je izgradnja zastonj strani, kjer ponujamo svojo igro. Oni poskrbijo za transakcije in si vzamejo 5% provizije. Ta stran je neodvisna od njihove trgovine. Druga možnost je samostojen majhen gradnik, ki ga potem lahko dodamo na svojo spletno stran. Podobno kot pri njihovi neodvisni strani si vzamejo 5% provizije. Zadnja možnost pa je prodajanje na njihovi spletni trgovini. Tukaj lahko dobimo njihovo izpostavitve naše igre, imamo znižanja ipd. So samo spletna trgovina, ne ponujajo aplikacije za prenašanje in posodabljanje iger. Provizija za prodajo v njihovi trgovini je 25%, ne stane pa nič, da svojo igro objavimo [10].
- **GameJolt.** Podobno kot itch.io je zelo popularna platforma za neodvisne razvijalce. Nudijo svojo aplikacijo za prenose in posodobitve. Objava igre v njihovo trgovino ne stane nič, provizija pa je 10% ali manj saj ponujajo možnost znižanja provizije. Promovirajo skupnost neodvisnih razvijalcev, zato vse dobičke dobimo na njihov račun, ki jih lahko nato porabimo za nakup iger drugih razvijalcev, brez dodatne provizije. Seveda je možno denar si vedno izplačati [14].
- **Apple store in Google Play.** Če je naša igra namenjena za mobilne naprave, potem moramo obvezno uporabiti ti dve trgovini. Obe nudita izgradnjo svoje strani za igro na trgovini, prenose, posodobitve in dodatne transakcije. Kot mobilna platforma ponujata tudi dodatni SDK, s katerimi lahko v našo igro vgradimo lestvice, nagrade, oblačne storitve ipd. Provizija je 30% od nakupa, je

pa potrebno tudi plačati za objavo aplikacije v trgovini. Pri Google Play je to enkratna cena 25 evrov, nakar lahko izdajamo koliko hočemo aplikacij [19]. Pri Apple store je cena 99 evrov na leto [2].

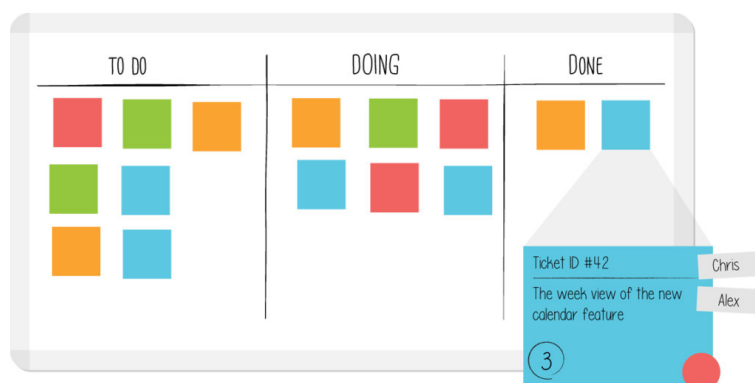
3 Orodja za izdelavo iger

3.1 Načrtovanje in vodenje razvoja

Dobra organizacija veliko prispeva za tekoč razvoj računalniške igre. Obstaja veliko različnih orodij, nekatere so usmerjene za organizacijo ljudi in opravil, druge za organizacijo projekta in kode. Tudi, če samostojno razvijamo igro nam ta orodja veliko pomagajo, zato smo poiskali dobre rešitve in jih tudi opisali.

3.1.1 Organizacija ljudi in opravil

Delo je priporočljivo razdeliti na manjša opravila, ki jih lahko opišemo, razdelimo med skupino in vodimo njihov napredek. Dve izmed boljših orodij za to sta Trello in HackNPlan. Obe pa uporabljata principe kanban razvojnega sistema.

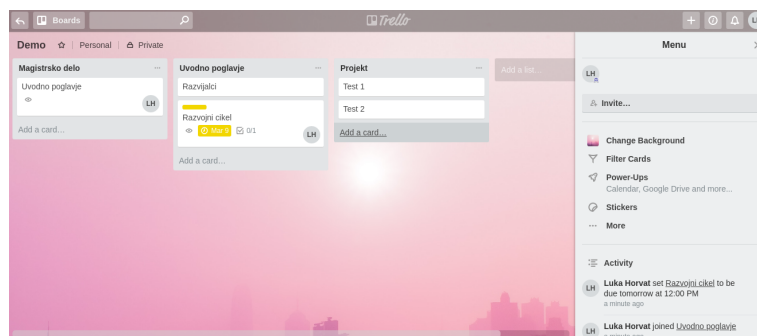


Slika 3.1: Kanban tabla. Vir [25]

Kanban sistem je način organizacije dela, katerega cilj je izboljšati ravnovesje med

povpraševanjem in kapaciteto človeškega dela, ki je na voljo. Delo je razdeljeno na manjše kose in vizualizirano na kanban tabli kot primer na sliki 3.1. Opravila so večinoma vizualizirana na listkih, ki hranijo potrebne podatke kot so naslov, opis, ocenjen čas potrebnega dela, trenutni upravitelji ipd. Ta opravila so uvrščena na pripadajoč del table, odvisno v kakem stanju je opravilo (npr. čaka na dela, v razvoju, v testiranju, potrebno ocene, končano, ipd.). Glavni cilj take organizacije je vizualizirati in kategorizirati opravila, ki jih nato razvijalci prevzamejo in opravijo [25].

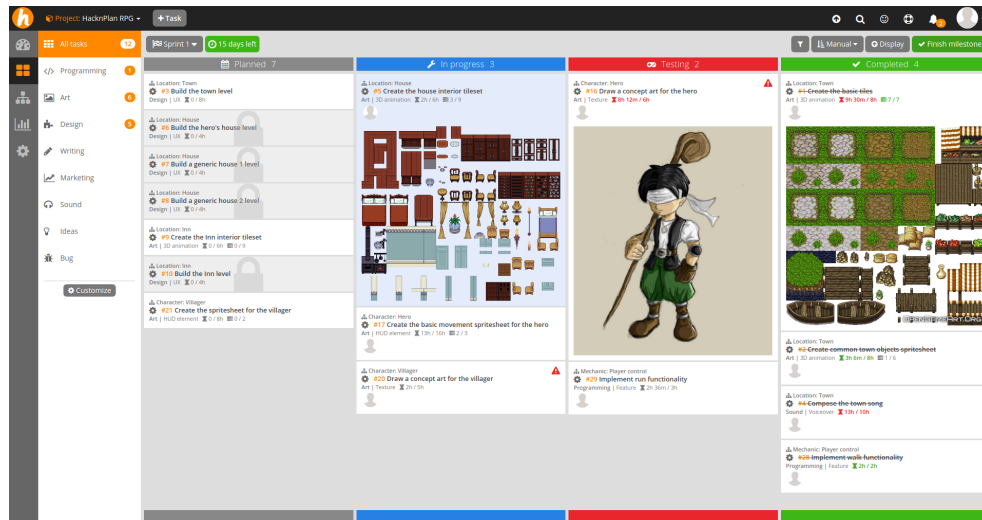
Trello je produkt pod okriljem podjetja Atlassian, ki med drugim nudijo storitve kot so Jira in BitBucket. Ponuja nam izgradnjo tabel, na katera dodajamo opravila v obliki kartic z vsemi potrebnimi informacijami. Razvijalce lahko razvrstimo v skupine in tabele, nakar se lahko dodelijo na opravilo. Primer demo table je viden na sliki 3.2. Storitev je na voljo preko spletne strani, ponujajo pa tudi mobilno aplikacijo. Vsa funkcionalnost je na voljo zastonj, z možnostjo nadgradnje za 9.99 dolarjev za vsakega člana na mesec. Nadgradnja nam omogoči nalaganje večjih datotek, dodatne varnostne funkcionalnosti, prvo ročno pomoč od podjetja ter več integracij za vsako tablo. Integracije so na voljo z njihovimi in drugimi produkti za lažjo organizacijo. Zastonjska verzija je za individualni razvoj več kot dovolj, saj so nadgradnje namenjene za večje projekte in skupine.



Slika 3.2: Primer Trello table.

HackNPlan je v osnovi podoben kot Trello, vendar je zgrajen specifično za razvoj računalniških iger. Poleg kanban table in organizacije ljudi ponuja še preglede statistik, vodenje sprintov ter funkcionalnost za skupno koncipiranje in dokumentiranje idej. Primer table vidimo na sliki 3.3. Vso naštetto funkcionalnost dobimo v zastonjski verziji

ponujajo pa tudi nadgradnjo za dodatne storitve. Cena nadgradnje je 4 evre na mesec in glavna dodatna funkcionalnost so integracije z drugimi storitvami kot so GitHub, Slack, ipd. Zastonjskih integracij ni, zato je na tem področju slabši produkt kot Trello, vendar pa specifične funkcionalnost za namen razvoja iger veliko pripomorejo.

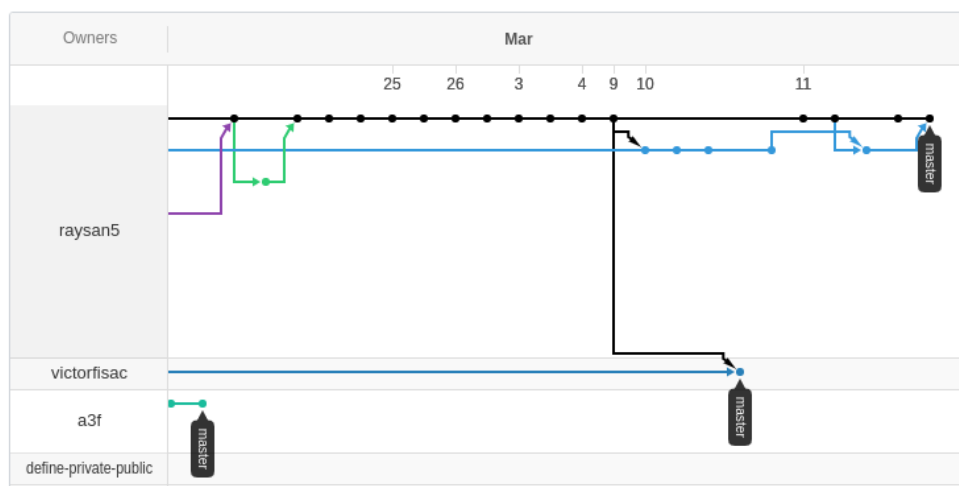


Slika 3.3: Primer HackNPlan table.

3.1.2 Organizacija projekta in kode

Enako pomembno kot organizacija opravil je organizacija samega projekta med razvojem. Za te potrebe obstaja več rešitev verzioniranja projektov kot so SVN, Mercurial, GIT, Perforce, itd. Te programske rešitve ponujajo način hranjenja trenutnega stanja projekte kode na centralnem mestu, obenem pa sledijo vsem spremembam vsake datoteke. Mogoče je tudi hraniti več različnih aktualnih verzij iste datoteke v različnih vejah, in jih nato združiti v končno obliko. Vsak razvijalec ima lokalno svojo kopijo projekta in svoje spremembe pošilja v centralni repozitorij. Tako v ozadju nastaja drevesna struktura sprememb projekta skozi čas. Primer takega grafa vidimo na sliki 3.4. Vsaka sprememba je komentirana s strani razvijalca in tako je možno hitro poiskati in preiti na starejšo verzijo v primeru težav [15].

V industriji razvoja računalniških iger je najbolj uporabljen sistem verzioniranja Perforce, saj deluje najboljše za večje projekte in kot komercialna plačljiva programska



Slika 3.4: Primer grafa sprememb Raylib projekta na GitHub-u.

rešitve ponuja zelo močna orodja za delo z binarnimi datoteka (umetniški in zvočni gradniki so velikokrat v binarnem formatu in obenem največje datoteke v projektu). Za večje projekte je Perforce plačljiv, ponujajo pa zastonjsko različico za projekte do 5 ljudi.

Najbolj preprost za uporabo in najbolj razširjen pri razvoju programske opreme pa je sistem Git. Popularnost je v veliki meri povezana s storitvijo GitHub, ki ponuja oblačno hranjenje repozitorija z našim projektom, obenem pa nudi funkcionalnost za lažje skupno delo na projektu. Alternativa GitHub-u je BitBucket, obe rešitvi pa smo analizirali za potrebe razvoja igre.

GitHub je spletna platforma zgrajena na bazi sistema verzioniranja Git. Glavna storitev je gostovanje našega repozitorja v oblaku, vendar imajo še obilo drugih storitev zaradi česar so zelo priljubljeni za veliko projektov. Omogočajo upravljanje z ljudmi in skupina, kdo ima dostop do kode, kdo dela na čem ipd. Pregled sprememb je preprost za uporabo in omogoča komentiranje nad kodo. Za vsak projekt nudijo tudi sistem sledenju napak (npr. kot Bugzilla), kjer lahko vsi, ki uporabljajo programsko opremo javijo napake in komunicirajo z razvijalci. Zelo popularna funkcionalnost so tudi zahteve za spremembe (angleško *pull request*), kjer lahko nekdo izdela in predlaga spremembe za projekt, nato pa se razvijalci odločijo, ali bodo te spremembe integrirali v glavno vejo projekta. Za odprtokodne in javne projekte je vsa za funkcionalnost zelo

dobrodošla, saj nudi lažje upravljanje z projektom. Zastonjska verzija Github-a ponuja vso naštetto funkcionalnost, omejitev je le v tem, da morajo vsi naši projekti biti javni. Če hočemo imeti zasebni projekt na Github, potem je potrebno plačat 7 evrov mesečno [16].

Alternativa Github-u je storitev BitBucket. Ponuja enako funkcionalnost vendar v zastonjski storitvi dovolijo zasebne repozitorije. Omejitev zastonjskega paketa je maksimalno 5 razvijalcev na projektu. Če hočemo povečati število razvijalcev je cena 2 evra na razvijalca na mesec. Za projekte z manjšo skupino je torej BitBucket boljša rešitev za privatni repozitorij. Če pa hočemo, da je naš projekt na voljo vsem, je pa boljša alternativa GitHub [7].

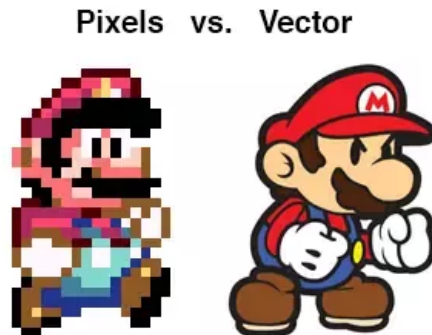
3.2 Orodja za izdelavo grafičnih gradnikov

Grafični gradniki so pri razvoju računalniške igre uporabljeni od samega koncipiranja do končnega izida igre. Mi smo se osredotočili na gradnike, ki se uporabijo v sami računalniški igri. Ti gradniki so odvisno od tipa igre 2D slike ali 3D modeli. Na trgu obstaja veliko rešitev za izdelavo teh gradnikov, mi pa smo analizirali zastonjsko programsko opremo, ki ima več kot dovolj funkcionalnosti za izdelavo potrebnih gradnikov za individualne projekte.

3.2.1 2D grafični gradniki

Individualni projekti večinoma uporabljajo dva stila 2D grafičnih gradnikov. Angleško imenovana *pixel art* in *vector art* (slovensko vektorska umetnost). Končni rezultat je kljub imen vedno rastrska slika, razlika je kako so gradniki ustvarjeni in kaj je v stilu pomembno. Pixel art izhaja iz navdiha iz starih igralnih sistemov, kjer so bile omejitve v smislu resolucije gradnikov in razpoložljivosti barv. Pomembno je izkoristiti vsak piksel, ki je na voljo. Vektorski gradniki pa v nasprotju ciljajo na gradnike višje resolucije. Poskušajo uporabiti preproste oblike in združevanje le-teh za pridobitev

končnih slik. Razliko v stilih vidimo na sliki 3.5.



Slika 3.5: Razlika v stilih 2d grafičnih gradnikov. Vir [22]

Program, ki ga priporočamo za izdelavo 2D pixel art gradnikov je Aseprite¹. Vsa potrebna funkcionalnost za delo z slikami iz profesionalnih programov je na voljo, vendar so vse prilagojene za delo s slikami nižjih resolucij. Zelo močna so tudi orodja za delo z animacijami, plastmi, ipd. Za namen razvoja računalniških iger nam ponuja tudi posebne izvoze v teksturne atlase in nize slik za animacijo. Program je na voljo za 15 evrov, vendar je vsa izvorna koda javna. Uradno da si lahko sami zgradimo program in ga uporabljamo v komercialne namene. Prednost plačljive različice so samodejne posodobitve, ni potrebno prevajati izvirne kode ter seveda podpora nadaljnjega razvoja.

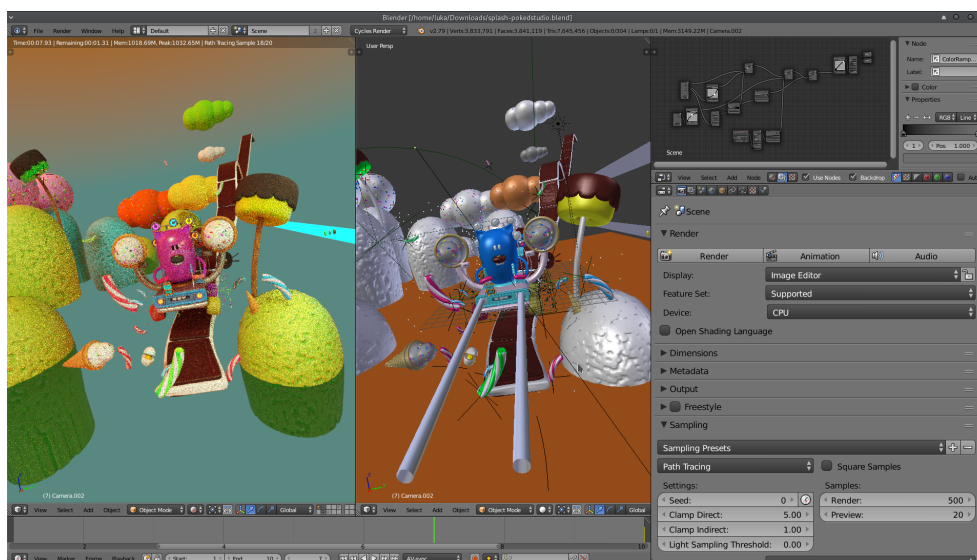
Za razvoj vektorske grafike pa predlagamo program Inkscape². Po funkcionalnost je podoben Adobe Illustrator-ju, le da je na voljo kot zastonjska odprtokodna rešitev. Manjkajo napredne funkcionalnosti kot je zvijanje združenih objektov za potrebe animacije, vendar na trgu ni boljše zastonjske alternative. V Inkscape delamo z vsemi liki kot z objekti, in nad njimi lahko izvajamo booleanove transformacije (presek, unija, odštevanje, ipd.) ter tako ustvarimo željene like. Ker delamo z objekti je naš končni izdelek neodvisen od resolucije in ga lahko izvozimo v željeni velikosti za našo igro.

¹<https://www.aseprite.org/>

²<https://inkscape.org/en/>

3.2.2 3D grafični gradniki

Izdelava 3D modelov je bolj zahtevna od 2D gradnikov saj je potrebnih več korakov (modeliranje, texture, animiranje). V industriji se uporabljajo različni programski paketi kot so Maya, Houdini, ZBrush in Blender³. Od teh je Blender edini zastonjski in odprtokodni program, ki je na voljo na vseh operacijskih sistemih. V zadnjih letih je vedno bolj uporabljen v industriji, saj se s svojo funkcionalnostjo lahko kosa z drugimi plačljivimi programi in jih na določenih mestih celo preseže. Primer programa vidimo v sliki 3.6.



Slika 3.6: Blender programski paket

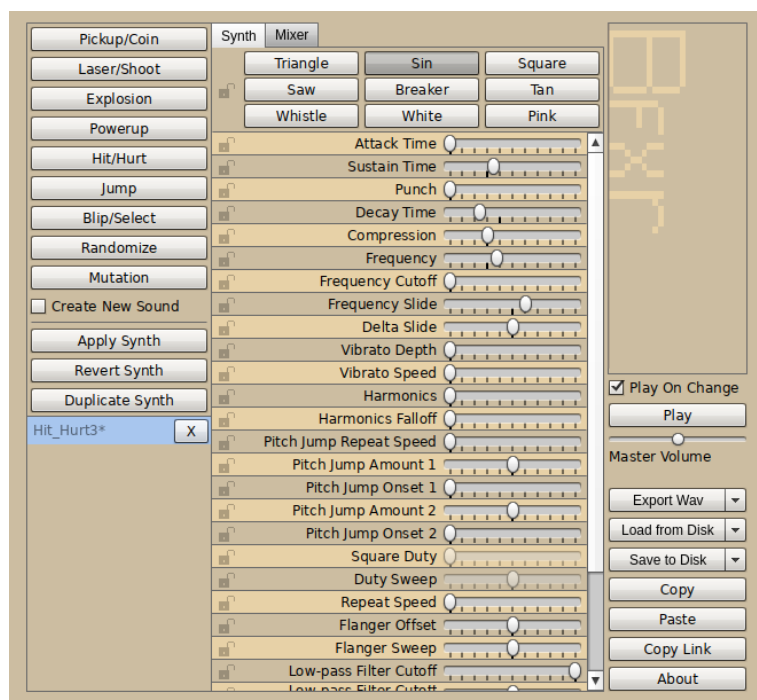
3.3 Orodja za izdelavo zvočnih gradnikov in glasbe

Za izdelavo zvočnih gradnikov (oziroma efektov v nadaljevanju) smo podobno kot pri izdelavi grafičnih gradnikov analizirali zastonjske rešitve, ki ponujajo potrebne funkcionalnosti za razvoj. Glavna ločitev med zvočnimi efekti in glasbo je, da se efekti uporabljajo za različne akcije v igri (npr. streli orožij, skok, šumenje, ipd.), nakar primerna glasba pa igra v ozadju glede na trenutno splošno dogajanje. Velikokrat

³<https://www.blender.org/>

se uporabljajo namenski programi za izdelavo glasbe tudi za izdelavo efektov, vendar obstaja nekaj orodij, ki so namenjene specifično za to.

Izdelava zvočnih efektov ima dva pristopa. Za bolj kvalitetne efekte se v studijo posnamejo dejanski zvoki, ki bi bili primerni za igro. Recimo za strele orožij se posnamejo streli avtentičnih orožij, šumenje se simulira z listjem ipd. Ti zvoki se potem obdelajo in prilagodijo v programski opremi za delo z zvokom/glasbo. Drugi način je generiranje zvokov iz računalniško ustvarjenih zvokov in šumov. Z uporabo različnih valovnih oblik (sinusoida, trikotni val, rampa, kvadrat, ipd.), filtrov in različnih modulacij ustvarimo željene efekte. Namenski programi za ta proces so Bfxr, Labchirp, DSP Retro/Anime, ipd. Labchirp in DSP delujeta le na platformi Windows, obenem je DSP plačljiv, zato smo za analizo izbrali Bfxr⁴, ki je prosto dostopen in obenem uporaben kar s spleta. Program vidimo na sliki 3.7. Kot je z slike razvidno, imamo možnost izbire različnih valovnih funkcij, ki jo nato spreminjamo s ponujenimi drsniki. Ustvarjene efekte lahko tudi združimo skupaj in na koncu izvozimo v Wav formatu za uporabo v igri.

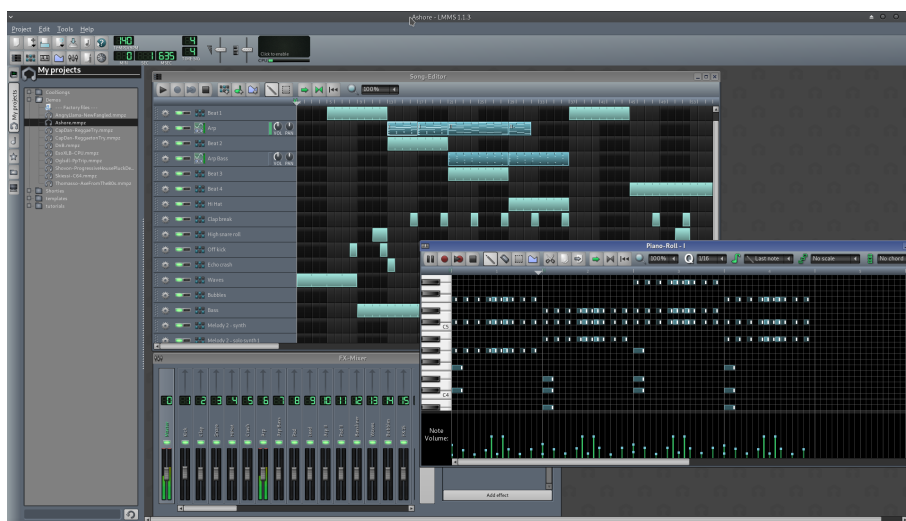


Slika 3.7: Program Bfxr

Izdelava glasbe je bolj pokrita z programskimi paketi kot izdelava efektov. Med bolj

⁴<https://www.bfxr.net/>

znane sodijo FL Studio, Reaper, Logic Pro X, itd. Vsi naštetni so plačljivi z minimalno vstopno ceno vsaj 100 evrov. Obstaja tudi nekaj prosto dostopnih rešitev kot so Ardour in LMMS⁵, ki smo ga bolj podrobno analizirali. Je odprto kodni program in je na voljo na vseh operacijskih sistemih (Windows, Linux, OS X). Na sliki 3.8 vidimo primer izdelave skladbe. Izberemo si različne inštrumente (na voljo so godala, tolkala, pihala, klaviature, možno si je tudi ustvariti sintetično glasbilo) in z njimi ustvarimo vse potrebne dele skladbe s postavljanjem posameznih not. S tem ustvarimo sekcije, ki jih nato sestavljamo v končni produkt.



Slika 3.8: Program LMMS med izdelavo skladbe

3.4 Računalniške knjižnice, ogrodja in pogoni

Glavni cilj magistrske naloge je uporabiti in opisati orodja za tehnično implementacijo računalniške igre. Tehnično implementacijo mislimo kot samo programiranje oziroma razvoj igre. Zato smo raziskali in opisali različna orodja, ki so nam na voljo v tem poglavju, njihovo uporabo in prakse pa sledijo v poglavju 4. Omejili smo se na orodja, ki so na voljo na vseh večji operacijskih sistemih (Windows, Linux in OS X) in je z njimi možno izdelati računalniško igro za vse tri sisteme (po možnosti tudi več npr. mobilne in spletne platforme).

⁵<https://lmms.io/>

Tehnično implementacijo računalniške igre smo v našem delu kategorizirali v tri različne smernice: nizkonivojske knjižnice, visokonivojske knjižnice in ogrodja ter namenske pogone.

3.4.1 Nizkonivojske knjižnice

V to kategorijo smo uvrstili knjižnice, ki nudijo specifičen nabor funkcionalnosti potrebne za razvoj računalniške igre. Omejili smo se na programski jezik C++, saj je najbolj razširjen v industriji razvoja iger. Te knjižnice pokrivajo eno ali več izmed naslednji funkcionalnosti: upravljanja z okni, vhodni sistemi (tipkovnica, miška, igralni ploščki, ipd.), računalniška grafika, predvajanje zvoka, medmrežna komunikacija, matematične funkcije, fizikalni pogoni, itd. Težko je definirati mejo med knjižnico in ogrodjem (angleško *framework*), vendar v splošnem knjižnice v tej kategoriji ne pokrivajo vse potrebne funkcionalnosti za razvoj. Potrebno je uporabiti kombinacijo le-teh, da uresničimo končni projekt.

Najprej je potrebna osnovna knjižnica, ki ponuja osnovno funkcionalnost za vzpostavitev programa. Sem spadata knjižnici SDL⁶[32] in GLFW⁷[17]. Obe ponujata abstrakcijo za potrebno delo z okni na namizju, dostop do vhodnih naprav, kontekst za upravljanje z grafičnim cevovodom kot je OpenGL, Direct3D ali Vulkan, ipd. Sta temelj večini iger, ki se razvijajo z nizkonivojskimi knjižnicami, obenem pa sta tudi izhodiščna točka za namenske pogone kot je Source Engine [27] in Cryengine [24].

Preden nadaljujemo je potrebno omeniti še grafične cevovode. Tukaj obstajajo trenutno trije standardi: Direct3D, OpenGL in Vulkan. Direct3D je član paketa DirectX, skupek knjižnic za razvoj računalniških iger od podjetja Microsoft. Podobno kot SDL ponuja DirectX paket vseh potrebnih funkcionalnosti za razvoj, vendar je na voljo samo za Windows platformo in igralno konzolo Xbox. Zato nismo opisali grafičnega cevovoda Direct3D, saj ni na voljo za vse platforme. OpenGL in Vulkan pa sta standarda za delo z grafičnim cevovodom, razvoj nad njima vodi konzorcij Khronos Group.

⁶<https://www.libsdl.org/>

⁷<http://www.glfw.org/>

OpenGL so začeli razvijati leta 1992, Vulkan pa je nekako naslednik tega standarda, z začetkom razvoja leta 2016. Oba standarda ponujata način dela z grafičnimi karticami, za potrebe izrisovanja 2D in 3D grafike. Oba standarda imata svoje knjižnice, ki za delo potrebujejo samo kontekst do grafične kartice, ki ga ponudi osnovna knjižnica kot je SDL ali GLFW [23].

SDL ponuja še razširitve v obliki dodatnih knjižnic za dostop do specifične funkcionalnosti:

- **SDL_Image.** SDL v osnovi ponuja podporo za omejeno število slikovnih formatov. Če hočemo prebrati druge formate potrebujemo dodatno knjižnico. SDL_Image ponuja podporo za popularne formate BMP, GIF, JPEG, PNG, SVG in še druge. Obenem so funkcije pripravljene tako, da je lažje uporabljati te slike v kontekstu SDL knjižnice, kot pa če bi uporabljali katero bolj splošno knjižnico za slike kot je SOIL [3].
- **SDL_Mixer.** Osnovna SDL knjižnica podpira nalaganje glasbenih datotek v formatu WAV. Obenem je možno predvajati zvoke po samo enem kanalu naenkrat kar pomeni, da ne moremo predvajati več različnih efektov naenkrat, brez da bi sami spisali algoritem za mešanje efektov. Zato ponujajo razširitev knjižnico SDL_Mixer, ki odpravi te omejitve. Doda podporo za branje datotek formata FLAC, OGG, MP3, MOD in MIDI. Obenem ponuja prevajanje zvokov po več različnih kanali. Tako lahko predvajamo glasbo v ozadju, v ospredju pa predvajamo več različnih zvočnih efektov naenkrat [4].
- **SDL_TTF.** SDL ne podpira delo z računalniškimi pisavami (angleško *font*). Če hočemo izpisovati tekst na zaslonu, moramo narediti slike črk, in potem sestaviti besedilo iz posameznih slik črk. Tak postopek je zakompliciran in časovno potraten, obenem je za prehod med različnimi stili pisav potrebno znova ustvariti slike črk. SDL_TTF doda podporo za branje standardnega formata računalniških pisav TTF. Nakar lahko enostavno izpišemo tekste v poljubnem stilu na zaslon [6].
- **SDL_Net.** Osnovna knjižnica ne ponuja nobene funkcionalnosti za komunikacijo

preko mreže. SDL_Net nam ponuja funkcionalnost za vzpostavitev strežnika in povezave na druge strežnike preko TCP ali UDP protokola. Razširitev deluje med različnimi platformami, tako da ni potrebno programirati specifične funkcionalnosti za vsako posebej [5].

- **SDL_Rtf.** Ta razširitev ni najbolj uporabna za namene izdelave iger, ampak ker je še zadnja od uradno ponujenih smo jo vseeno omenili. Ponuja funkcionalnost za delo z RTF datotekami. To so tekstovne datoteke z obogateno vsebino. Omogoča nam prikaz obogatene vsebine v naši SDL aplikaciji.

Seveda ni potrebno, da uporabljamo SDL razširitve, če uporabljamo SDL kot osnovo za našo igro. Razširitve ponujajo osnovno pomoč za delo z delo z specifično funkcionalnostjo (zvok, računalniški tekst, slike, ipd.), vendar pa velikokrat nimajo naprednih funkcionalnosti, ki bi jih potrebovali za našo igro. Obenem razširitev ne moremo uporabljati, če za osnovo vzamemo knjižnico kot je GLFW. Zato smo opisali še nekaj izbranih drugih knjižnic, ki ponujajo večji nabor funkcionalnosti za razvoj igre:

1. **SOIL** je kratica za *Simple OpenGL Image Library*. Kot je že iz imena razvidno nam ponuja branje slik za uporabo v naši aplikaciji. Podpira podobno funkcionalnost kot SDL_Image, vendar je izdelana specifično za uporabo z OpenGL cevovodom, saj nam prebere slike v teksture [26].
2. **Irrklang.** Ponuja napredno funkcionalnost za delo z zvokom. Osnovna funkcionalnost (podobno kot pri SDL_Mixer) je nadgrajena z podporo za 3D zvok, s katerim se lahko v naši igri igralci orientirajo. Prav tako ponuja večji nabor efektov, ki jih lahko apliciramo na naših zvokih (npr. odmev, distorzija,, ipd.). Knjižnica je na voljo zastonj, če delamo na nekomercialnem produktu. Drugače pa moramo plačati enkratno licenco v višini 65 evrov (za uporabo v igrah, ki stanejo manj kot 20 evrov), 290 evrov (za igre do 27 evrov) oziroma licenca za specifično igro (brez omejitve cene) v višini 490 evrov [1].
3. **FMOD.** Je ena izmed bolj popularnih knjižnic za uporabo v razvoju iger. Ponujajo vso funkcionalnost iz SDL_Mixer in Irrklang obenem pa ponujajo svojo

platformo za nakupovanje zvočnih efektov in samo urejanje le-teh. Knjižnica je na voljo zastonj za eno igro na leto, če je naš proračun manjši od 500 tisoč dolarjev. Za večje projekte pa stane licenca 5000 dolarjev [34].

4. **FreeType.** Je osnova knjižnica na kateri je zgrajen `SDL_TTF`. Če ne uporabljamo `SDL` knjižnice, potem moramo namesto razširitve uporabiti `FreeType` knjižnico. Ponuja enako funkcionalnost kot smo že opisali pri `SDL_TTF`, saj je tisto le ovoj za lažje delo z `FreeType` knjižnico v `SDL` aplikaciji [29].
5. **Box2D in ReactPhysics3D.** Nizkonivojske osnovne knjižnice za razvoj iger ponavadi nimajo podpore za delo z fizikalnim pogonom. Če hočemo simulirati interakcijo objektov kot v resničnem svetu potem potrebujemo fizikalni pogon. `Box2D` je eden izmed najbolj popularnih za 2D igre in ponuja funkcionalnost za preverjanje trkov med različnimi objekti (podpira konkavne in konveksne oblike, visoke hitrosti, hitro iskanje pri visokem številu objektov) in svoj fizikalni pogon. Sam pogon podpira realno časovno simulacijo teles, upora, trenja, navorov, delo z zgibi, odzivi na sile ipd. Podobno funkcionalnost vendar v 3D prostoru ponuja knjižnica `ReactPhysics3D`. Obe knjižnici sta odprtokodni in na voljo brez licence [11] [12].

3.4.2 Visokonivojske knjižnice in ogrodja

Težko je določiti mejo med nizkonivojskimi in visokonivojskimi knjižnicami oziroma ogrodji. V osnovi bi visokonivojske naj ponujale kompletno funkcionalnost, ki jo potrebujemo za razvoj igre od začetka do konca. Mogoče je še kdaj potrebno dodati knjižnico za zelo specifične funkcionalnosti. Obenem take knjižnice priporočajo oziroma se naslanjajo na specifičen način razvoja igre in se temu moramo prilagoditi, da najboljše izkoristimo funkcionalnost.

Najprej smo v tem poglavju opisali še dve knjižnici, ki nista še popolnoma v tej kategoriji, vendar ponujata dovolj velik sklop funkcionalnosti, da ju ne moremo uvrstiti v našo definicijo čiste nizkonivojske knjižnice:

1. **Raylib.** Je odprtokodna C knjižnica, ki ponuja večji del funkcionalnost za razvoj računalniške igre. Je zgrajena na osnovi GLFW in ima svoj sistem za delanje z okni ter vhodnimi napravami. Podpira branje in risanje slik različnih formatov, branje in risanje računalniških pisav, nalaganje 3D modelov in izrisovanje, sistem za materiale za modele, podporo senčilnikov (angleško *shader*), predvajanje glasbe in zvokov, VR izrisovanje, ipd. Knjižnica je nekako kombinacija vseh SDL knjižnic, vendar z nadgrajeno funkcionalnostjo. Ena večjih funkcionalnosti, ki manjka je komunikacija preko mreže. Ponuja še dodatne individualne knjižnice, ki dodajo funkcionalnost za delo s preprostimi grafičnimi vmesniki, fizikalnim pogonom in animacijami. Te dodatne razširitvene knjižnice ne ponujajo kompletne funkcionalnosti, ki bi jih dobili z drugimi knjižnicami, zato nam tukaj manjka določen del funkcionalnosti. Knjižnica je zamišljena na način, da ne predvideva specifičen način programiranja, zato jo lahko uporabimo na svoj način [30].
2. **SFML.** SFML je odprtokodna C++ knjižnica, ki ponuja bolj omejen sklop funkcionalnosti kot Raylib. Ima svojo zasnovo za delo z platformo in ne uporablja SDL ali GLFW. Podpira bolj osnovne funkcionalnosti kot je izrisovanje, delanje z zvokom, vhodnimi napravami, računalniškimi pisavami, slikami in komunikacijo preko mreže. Nima napredne funkcionalnosti kot 3D izrisovanje, materiale, senčilnike, ipd. Obenem ne ponuja nobenih razširitvenih knjižnic, s katerimi bi lahko dodali tako funkcionalnost [18].

Sledijo ogrodja, ki sodijo v kategorijo visokonivojskih knjižnic in ogrodij. To so ogrodja, ki so zgrajena z namenom izdelave računalniških iger in tako ponujajo vso funkcionalnost, ki bi jo rabili. Imajo svoj način uporabe, vendar s tem znižajo potrebno delo, da uresničimo svoj cilj.

LibGDX je ogrodje za programski jezik Java. Je odprtokodno in podpira vse namizne platforme, kot tudi Android, iOS ter izvajanje v brskalnikih. Ima zelo močen pogon za izrisovanje 2D in 3D grafike, obenem pa ponuja dostop do nizkonivojskih funkcij če jih rabimo. Izrisovanje različnih objektov se zapakira skupaj, kar doprinese k hitrosti ogrodja. Podpira več vrst glasbenih in slikovnih formatov, delo z vhodnimi napravami

ter gestami, ima obsežno funkcionalnost za matematične operacije, podpira 2D in 3D fizikalni pogon, mrežno komunikacijo, razna dodatna orodja in še veliko več. Skoraj vsa funkcionalnost, da izdelamo igro od začetka do konca, je v tem ogrodju. Ponuja scenski sistem za delo z našimi objekti v igri, kar nakazuje na specifičen način izdelovanje naše igre s pomočjo scen. Ni pa ta funkcionalnost obvezna [35].

3.4.3 Namenski pogoni

4 Razvoj računalniške iger

5 Sklep

Literatura

- [1] Ambiera. irrklang features. Dostopno na: <https://www.ambiera.com/irrklang/features.html> [25. 3. 2018].
- [2] Apple. Apple store membership, 2018. Dostopno na: <https://developer.apple.com/support/compare-memberships/> [6. 3. 2018].
- [3] Jonathan C. Atkins. Sdl_image documentation. Dostopno na: https://www.libsdl.org/projects/SDL_image/docs/index.html [24. 3. 2018].
- [4] Jonathan C. Atkins. Sdl_mixer documentation. Dostopno na: https://www.libsdl.org/projects/SDL_mixer/docs/index.html [24. 3. 2018].
- [5] Jonathan C. Atkins. Sdl_net documentation. Dostopno na: https://www.libsdl.org/projects/SDL_net/docs/index.html [24. 3. 2018].
- [6] Jonathan C. Atkins. Sdl_ttf documentation. Dostopno na: https://www.libsdl.org/projects/SDL_ttf/docs/index.html [24. 3. 2018].
- [7] Atlassian. Bitbucket, 2018. Dostopno na: <https://bitbucket.org/product/features> [14. 3. 2018].
- [8] James Batchelor. More than 6,000 games released on steam in 2017 so far, November 2018. Dostopno na: <https://www.gamesindustry.biz/articles/2017-11-10-more-than-6-000-games-released-on-steam-in-2017-so-far> [4. 3. 2018].
- [9] AH Blackwell and E Manar. Prototype. *UXL Encyclopedia of Science (3rd ed.)*. Retrieved, 13, 2015.

- [10] Humble Bundle. Humble bundle developer resources, 2018. Dostopno na: <https://www.humblebundle.com/developer> [6. 3. 2018].
- [11] Erin Catto. Box2d about. Dostopno na: <http://box2d.org/about/> [25. 3. 2018].
- [12] Daniel Chappuis. Reactphysics3d, 2017. Dostopno na: <http://www.reactphysics3d.com/> [25. 3. 2018].
- [13] Robert Dellafave. Marketing your indie game: The single most important thing to learn, July 2014. Dostopno na: <https://gamedevelopment.tutsplus.com/articles/marketing-your-indie-game-the-single-most-important-thing-to-learn--gamedev-7157> [4. 3. 2018].
- [14] GameJolt. Gamejolt marketplace, 2018. Dostopno na: <https://gamejolt.com/marketplace> [6. 3. 2018].
- [15] Git. Getting started - about version control. Dostopno na: <https://git-scm.com/book/en/v2/Getting-Started-About-Version-Control> [12. 3. 2018].
- [16] GitHub. Github, 2018. Dostopno na: <https://github.com/features> [14. 3. 2018].
- [17] GLFW. Glfw, 2018. Dostopno na: <http://www.glfw.org/> [24. 3. 2018].
- [18] Laurent Gomila. Simple and fast multimedia library, 2018. Dostopno na: <https://www.sfml-dev.org/> [27. 3. 2018].
- [19] Google. Google play console, 2018. Dostopno na: <https://developer.android.com/distribute/console/index.html> [6. 3. 2018].
- [20] itch.io. itch.io creator faq, 2018. Dostopno na: <https://itch.io/docs/creators/faq> [6. 3. 2018].
- [21] Sumit Jain. Game development life cycle, 2017. Dostopno na: <https://www.linkedin.com/pulse/game-development-life-cycle-sumit-jain> [27. 2. 2018].

- [22] Valiant John. How do i get started making 2d game art for my first serious game? Quora, January 2017. Dostopno na: <https://www.quora.com/How-do-I-get-started-making-2D-game-art-for-my-first-serious-game> [15. 3. 2018].
- [23] Khronos. Opendgl overview, 2018. Dostopno na: <https://www.opengl.org/about/> [24. 3. 2018].
- [24] Michael Larabel. Details on crytek's cryengine linux engine port, 2014. Dostopno na: https://www.phoronix.com/scan.php?page=news_item&px=MTYzOTA [21. 3. 2018].
- [25] Leankit. What is a kanban board?, 2018. Dostopno na: <https://leankit.com/learn/kanban/kanban-board/> [8. 1. 2018].
- [26] Lonesock. Simple opengl image library. Dostopno na: <https://www.lonesock.net/soil.html> [25. 3. 2018].
- [27] Nvidia. Porting the source engine to linux: Valve's lessons learned, 2014. Dostopno na: <https://developer.nvidia.com/sites/default/files/akamai/gamedev/docs/Porting%20Source%20to%20Linux.pdf> [21. 3. 2018].
- [28] Alex F Osborn. Applied imagination. 1953.
- [29] FreeType project. Freetype overview, 2018. Dostopno na: <https://www.freetype.org/freetype2/docs/index.html> [25. 3. 2018].
- [30] Raylib. Raylib, 2018. Dostopno na: <http://www.raylib.com/> [27. 3. 2018].
- [31] Scott Rogers. *Level Up! The guide to great video game design*. John Wiley & Sons, 2014.
- [32] SDL. Simple directmedia layer, 2018. Dostopno na: <https://wiki.libsdl.org/ FrontPage> [24. 3. 2017].
- [33] Steam. Steamworks. Dostopno na: <https://partner.steamgames.com/> [4. 3. 2018].

- [34] Firelight Technologies. Fmod api, 2018. Dostopno na: <https://www.fmod.com/api> [25. 3. 2018].
- [35] Mario Zechner. Libgdx goals and features, 2018. Dostopno na: <https://libgdx.badlogicgames.com/features.html> [27. 3 .2018].