Универзитет у Београду

Електротехнички факултет



Предности и имплементација Entity Component System архитектуре

Дипломски рад

|  |  |
| --- | --- |
| Ментор: | Кандидат: |
| доц. др Дражен Драшковић | Маја Скоко 2016/0491 |

Београд, Септембар 2020.

Садржај

[Садржај i](#_Toc50844757)

[1. Увод 1](#_Toc50844758)

[2. Традиционална архитектура 2](#_Toc50844759)

[2.1. Објектно-орјентисано програмирање 2](#_Toc50844760)

[2.2. Развој видео игара коришћењем OOP 2](#_Toc50844761)

[2.3. Предности 3](#_Toc50844762)

[2.4. Мане 3](#_Toc50844763)

[2.4.1. Одржавање 3](#_Toc50844764)

[2.4.2. Преформансе 5](#_Toc50844765)

[3. Архитектура орјентисана на податке 6](#_Toc50844766)

[3.1. Историја 6](#_Toc50844767)

[3.2. Entity-Component-System архитектура 7](#_Toc50844768)

[3.3. Поређење са објектно-орјентисаним дизајном 8](#_Toc50844769)

[3.3.1. Добјиање на брзини коришћењем кешa 8](#_Toc50844770)

[3.3.2. Поређење преформанси 12](#_Toc50844771)

[4. Детаљи имплементације 13](#_Toc50844772)

[4.1. Entity-Component-System 13](#_Toc50844773)

[4.1.1. Управљање ентитетима и компонентама 14](#_Toc50844774)

[4.1.2. Управљање системима 17](#_Toc50844775)

[4.1.3. Архитектура као цјелина 17](#_Toc50844776)

[4.2. ECS примјери коришћења 18](#_Toc50844777)

[5. Додатне могућности 19](#_Toc50844778)

[6. Порблеми 20](#_Toc50844779)

[7. Закључак 21](#_Toc50844780)

[Литература 22](#_Toc50844781)

[Списак скраћеница 23](#_Toc50844782)

[Списак слика 24](#_Toc50844783)

[Списак табела 25](#_Toc50844784)

1. Увод

Игре су специфична врста апликација због тога што се од њих константно очекује висок ниво преформанси. Велике компаније попут Unity, Epic и Crytek су увидјеле да им је потребна нова програмска архитектура, како би се омогућио развој видео игара које имају знатно боље преформансе него што је то био случај раније. Велике хијерархије класа, сложене путање наслеђивања и додавања нових типова објеката учинили су да флексибилност, поновна употреба кода и преформансе трпе.

Да би се рјешио овај проблем, традиционални објектно орјентисани дизајн замјењен је новом архитектуром која је названа Еntity Component Sytem (ECS) и управо њеном имплементацијом се бави и овај рад. Entity Component System представља архитектуру која омогућава велику флексибилност при дизајнирању игара. ЕCS је орјентисан на саме податке, концепт објекта се више не користи већ су подаци и логика одвојени. Наравно, објекат као инстанца класе или структуре се мора створити, јер су то ограничења програмског језика, али у њему се налазе само подаци и стање које је потребно, док се остала логика дефинише у другим дјеловима кода.

Циљ овог рада је упознавање са концептом Entity Component System архитектуре, као дизајна орјентисаног на податке, а не објекте. Имплементирати платформу која ће детаљно приказати начин функционисања ЕCS архитектуре и на који начин она доприноси флексибилности и бољим преформанса саме апликације.

У наставку рада, конкретно у поглављу 2 биће објешњен традиционални начин кодирања, како би се боље могла направити паралела са нови дизајном орјентисаним на податке. У поглављу 3...

1. Традиционална архитектура

Објектно-Орјентисано програмирања (*eng. Object-Oriented programming ООP*) је начин да се организује код при развоју видео игара. У овом поглављу наведени су основни принципи Објектно-Орјентисаног програмирања и како се они могу користити за креирање програмског кода, зашто је овај дизајн користан и како га је могуће искористи у развоју видео игара.

* 1. Објектно-орјентисано програмирање

У ООP имплементацији кода сваки логички објекат креиран је као инстанца класе, и такве инстанце познате су под именом објекти. Сваки објекат садржи информације и о **стању** и о **понашању** истих.

**Стање** представља карактеристике објекта и обично је у форми *„садржи/има“* или *„је“*. Као примјер може се навести компјутер који *је* укључен или искључен, столица која *има* четри ноге и слично.

**Понашање** су ствари које објекат *„може радити“* или акције које објекат *„може изводити“*. За примјер се може узети човјек који *може да* сједи, користи компјутер или чита чланак. [1]

**Енкапсулација** у OOP објшњава да одређени сегменти апликације у себи садрже сву своју логику, док осталим сегментима показују само своју суштину. То значи да су одређени сегменти невидљиви вањским корисницима, те су им дати другачији начини приступа. **Наслеђивање** је процес код кога нову класу креирамо на основу постојеће класе. Објекти новокреиране класе, садрже све атрибуте (стање) и методе(понашање) базне класе. На овакве класе могуће је примјенити **полиморфизам**, што значи да функције наслеђене од базне класе, свака изведена класа може да редефинише и да извршава на свој начин.

* 1. Развој видео игара коришћењем OOP

Данас, велики број програма за развијање видео игра (енг*.Game Engine*) користи управо објектно-орјентисани дизајн. Као примјер можемо узети програм *Unity*. Свака скрипта написана, без обзира који се програмски језик користи, представља једну објектну класу. Свака класа садржи информације о стању и понашању самог објекта из игре (енг.*Game Object*). Сваком *GameObject* могуће је додати различите врсте компоненти које садрже написане скрипте које дефинишу понашање. Када су нам потребна два објекта која имају исти интерфејс, али различиту имплементацију користи се наслеђивање који је јадан од основих концепата објектно-орјентисаног програмирања.

* 1. Предности

Велика предност Објектно-Орјентисаног програмирања је што помаже у стварању одрживог кода који је лако размљиви и уредан. Такође, врло је погодан за директно превођење објеката из „реалног свијета“ и њихових интеракција у објекте у коду, јер игре се односе на различите врста објеката који међусобно комуницирају и ажурирају своја стања.

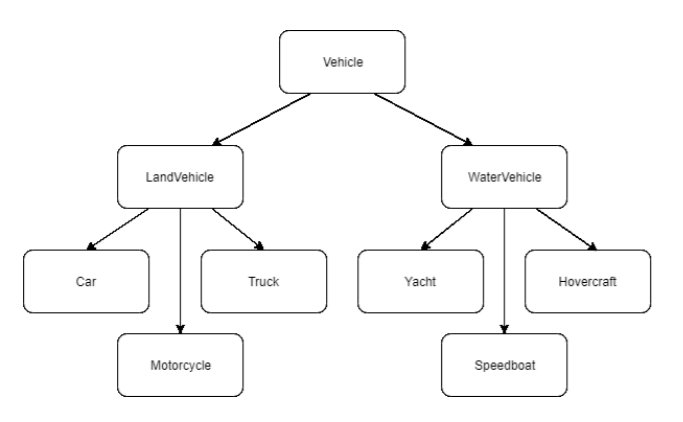
* 1. Мане

Посотоје два озбиљна недостатка у објектно-орјентисаном дизајну који могу створити проблеме играма, а то су одржавање и преформансе.

* + 1. Одржавање

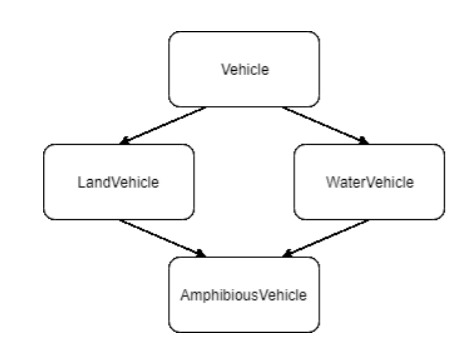
Проблем који се појављује код овог дизајна је проблем класификације објеката. Постоји могућност класификација објеката на основу само једног скупа критеријума. На пријмјер, уколико се организам класификује према генетским особинама, боја организма није узета у обзир на било који начин. Да би се организам класификовао по боји, потребно је да се креира потпуно ново структурно „стабло“.

У стварно животу честе су примјери објеката када је потребно да нека класа интегрише више различитих критеријума класификације у себе. Такође, дешава се да је потребно да се направи додатан простор за нове типове класа који нису били предвиђени у када је хијерархија класа била оргинално прављена. [2]



Слика 2.4.1.1 Хијерархија класа аутомобила

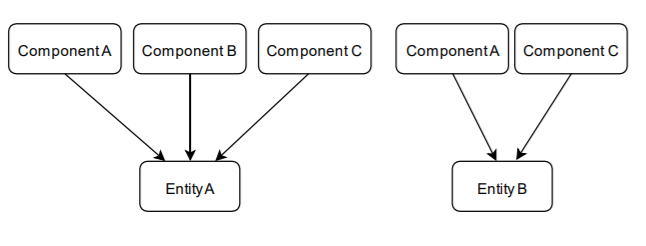
На слици 2.4.1.1 је приказана хијерархиија објеката аутомобила у објектно-орјентисаном дизајну. Иако се оваква хијерахија чини прихватљивом, може да дође до проблема уколико дизајнер видео игре одлучи да дода још једну врсту возила, која могу да се крећу и по копну и по земљи. Таква класа би морала да наслиједи особе из двије класе, класе копнених возила и водених возила. Међутим, таким наслеђивањем врло брзо би се уочио проблем изазван вишеструким наслеђивањем од истог родитеља. Такозвана дијамант структура добијена овавим наслеђвањем приказана је на слици 2.4.1.2. Оваква хијерархија може врло брзо постати компликована за одржавање и проширивање. Намеће се и питање која копија оснвоне класе „Vehicle“ ће се кориситити у новододатој класи. Да би рјешили овакав проблем потребно је потпуно преуредити хијерархију класа, што ће довести до понављања кода.



Слика 2.4.1.2. Дијамант структура класа

И управо ово представља споменути проблем одржавања кода. Настајање овакве структуре представља проблем, јер приликом развој апликације врло често се дешава да нам су потребни нови типови класа, а потпуно преуређивање хијерархиија представља неприхватљиво рјешење.

Рјешење у оваком случају је да се одступи од објектно-орјентисаног дизајна, и да се умјесто наслеђивања атрибута, уведу компоненте. Сваки објекат тј. ентитет може да комбинује и преклапа компоненте како би се изградило потребно понашање. Овакав дизајн би се могао назвати објетно-орјентисана композиција.



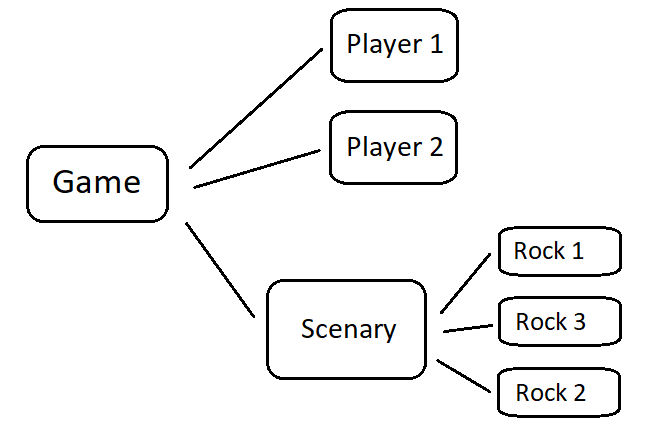
Слика 2.4.1.3 Хијерархија објектно-орјентисане композиције

На слици 2.4.1.3 приказано је како су ентитети састављени од малих компоненти пружајући ентитету оређену функционалност, а уједно рјешавајући се сложених хијерархија класа. Компоненте се могу поново користити између различитих ентитета. Ово представља прикладније рјешење приликом програмирања сложених апликација, али и даље не пружа могућност раздвајања података и логике, због чега имамо значајне трошкове због полиморфизма током извођења.

* + 1. Преформансе

Када су у питању преформансе битно је да се спомене чињеница да брзина процесроа се повећава знатно брже него брзина меморије. Пажљиво коришћење кеш меморије може бити од невјероватне важности за брзину апликације.

Објекти у ООP обично су повезани са многим индиректним везама – и референцама између самих објеката, али такође и референцама приликом претраживања свих виртуелни табела које су настале приликом позива методе неког објекта. Примјер је приказан на слици 2.4.2.1. Објектно-орјентисани објекти се такође алоцирају по потреби и шире се по читавом меморијском простору. Оваква насумична расподјела потребних података по меморији доводи до тога да процесор понаша неефикасно, јер непрестално чека на приступ меморији.



Слика 2.4.2.1 Објекти у ООP повезани великим бројем референци

Како би се рјешили овакви проблеми, постији програмска парадигма која се бави добрим приступом меморији названа *Data-oriented technology stack* DOTS. Главна идеја оваквог приступа је уредити податке у меморији како би се максимизирала локалност података и направити код који користи велике блокове података одједном, умјесто да се ради над једним објектном у неком временском тренутку.

1. Архитектура орјентисана на податке

Имплементација коришћењем дизајна орјентисаног на податке може се сматрати неком врстом проширења објектно-орјентисаног дизајна композиције који је споменут у поглављу 2.4.1., али примјена и употреба захтјева потпуно нов начин размишљања од корисника.

Да би се хардвер машине искористион на најбљи начин, потребно је предузети главни развојни помак, користити дизајн орјентисан на податке. DOTS је потпуно орјентисан на податке: код мора да буде дизајниран око података, а не обрнуто, што представља одступање од предходних система који су били објектно-орјентисани. Када се правилно користи, DOTS може омогућити да се искористе предности паралелизације и већи проценат погодака кеш меморије о чему ће се касније детаљније говорити. Додатне предности укључују модуларност, лакше умрежавање и лакшу сериализацију. [3]

* 1. Историја

Један од првих случајева употребе дизајна орјентисаног на податке у софтверима великих размјера је био 1998 године у видео игри по називом „Thief: The Dark Project“, у којој су програмери имали филозофију стварања изузето употребљивих компоненти. Посвећивање овом експериметалном дизајну нагарђено је програмом гдје „... није постојала било која врста хијерархије објеката заснованих на коду“. Приступ је функционисао тако добро да је тим успио да користи исту звршну датотеку кроз већи дио развоја програма „Thief“ и „System Shock“, двије веома различите игре, само избором различите хијерерхије објеката и скупа података у вријеме превођења. [4]

Још један познат примјер је игра под називом „Dungeon Siege“ из 2002. године која представља беспрекоран свијет без икаквих учитавајућих екрана, што је омогућио његов систем орјентисан на податке, систем који има велику сличност са ECS (који ће детаљније бити објашњен у наставку) иако термин још није званично био скован.

„Dungeon Siege“ је представио преко 7300 јединствених објеката од 7 типова, као и преко 100 000 објеката смештених између двије мапе [5]. Континуирани свијет ових размјера у то вријеме био је изузетно постигнуће, а модуларност систем заснован на компонентама дозволила је флексибилно управљање меморијом током извршавања.

Касније, овакав дизајн је озваничен захваљујући Адамз Мартину, британском програмеру, који је створио и ширио своје идеје и смјернице за овакав дизајн у индустрији, популаришући га посебно у контексту развоја програма за прављење видео игара. Као такве, већина парадигми Entity-Component-System приписује се Мартину, чак и ако су други тимови већ експериментисали и радили на програмима заснованим на сличним обрасцима.

Иако се академски радови и публикације на ту тему ријетко могу наћи, тренутно постоји безброј извјештаја и студија случаја успјешне употребе ECS архитектуре у играма и апликацијама, у распону од VFX и рачунарске графике, па све до независних развоја игара.

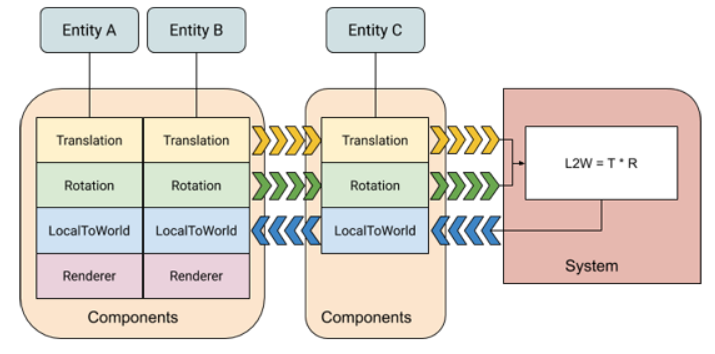
* 1. Entity-Component-System архитектура

Entity-Component-System представља архитектурални пројектни узорак за развој сложених апликација или игара, које имају користи од дефинисања објеката у мање дијелове, који се могу искористи више пута. Entity-Component-System се заснива на принципу „композиција изнад наслеђивања“. Рјешава проблеме настале наслеђивањем, при чему настају велике хијерархије класа, и уводећи значајне предности у погледу преформанси, флексибилности и продуктивности.

ECS се састоји од три основна елемента која међусобно комуницирају:

* Ентитети: које је Адам Мартин деинисао као „фундаменталне коцептуалне градивне блокове“ система, који представљају конкретне објекте. Не садрже податке и логику специфичну за апликацију.
* Компоненте: мале класе/структуре које је могуће искористити више пута и које „граде“ ентитете. Цитирајући опет Адама Мартина можемо их рећи да „означавају да ентитет посједује одређени аспект“. Компоненте садрже податке, али не и логику апликације.
* Системи: омогућавају логику апликације за ентитете који садрже одређени скуп компоненти.

Архитектура Entity-Component-System раздваја идентитет (ентитете), податке (компоненте) и понашање (системи). Системи трансформишу податке из улазног у излазно стање читањем података из компонентни које се индексирају на основу ентитети. У овом приступу, ентитетске инстанце су сведене са објеката на цјелобројне идентификаторе, који служе само у сврху обједињавања компоненти у једну цјелину. Компоненте у овој парадигми су једноставне, мале и безрезервни прикази својстава и података ентитета. Логиком се баве одвојени системи, који су увијек у потрази за активним компонентама. Не садрже никакве податке у себи и користе се само за трансформацију улазних податка на жељени начин. Три елемента су састављена заједно уз помоћ менаџера, који омогућава различитим дијеловима дизајна да комуницирају једни с другима. Менаџер контекста је задужен за вођење евиденције које компоненте припадају којим ентитетима и која се користи за прослеђивање потребних података одговарајућим системима.



Слика 3.2.1 Ентитети, компоненте и системи као цјелина

* 1. Поређење са објектно-орјентисаним дизајном

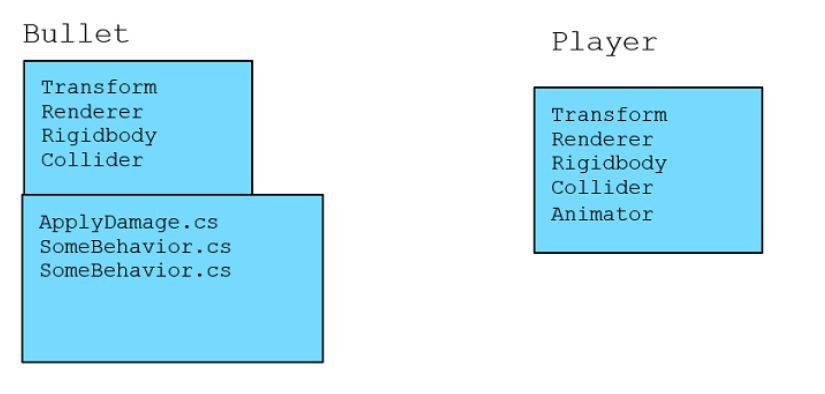
Главна разлика ове двије архитектуре је у томе што се OOP фокусира на, како му и само име каже, објекте. Цијели програм се пише с објектима на уму, те се сви остали концепти прилагођавају објектима. Објект можемо дефинисати као скуп података и функционалности који манипулишу тим подацима на једном мјесту.

Како би боље разумјели OOP и упоредили га са архитектуром орјентисаном на податке, најбоље погледати ток рада за креирање објеката на сцени у програму за креирање игрица *Unity*:

* креирање празног објекта *GameObject* на сцени
* додавање компоненти које објекту дају жељене особине
* креирање и додавање скрипти објекту које ће да манипулишу и мјењају стање компоненти у времену извршавања
  + 1. Добјиање на брзини коришћењем кешa

Може се примјетити да постоји низ мана оваквог тока рада. Неке од њих су већ навођене, али значајно је примјетити да је обрада везана за врло специфичан скуп података, тако да је поновна употреба кода ријетка. Као додатак на то, овакав систем је веома зависан од типова података који садрже референце на објекте (енг.*Reference types*).

На слици 3.3.1.1 приказана су два *GameObject* и њихове компоненте. *Bullet* је зависан од *Transform, Renderer, Rigidbody* и *Collider* референци. Објектни на које се упућује скриптама налазе у дијелу меморије који се назива *heap*. Као последицу, имамо да се подаци не трансформишу у облик којим може да оперише бржи дио меморије, SIMD векторска једница.

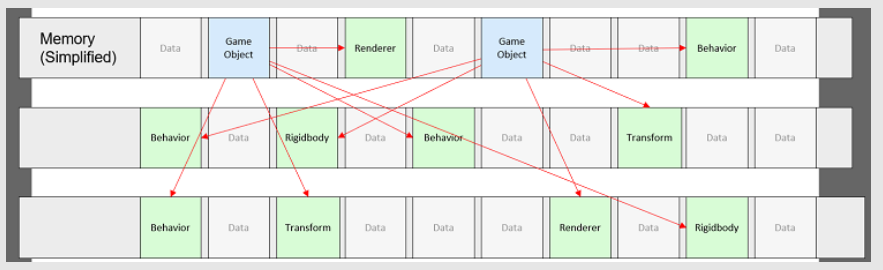


Слика 3.3.1.1 Примјер више *GameObject*-а и компоненти у ООP дизајну *Unity*

Приступ подацима из системске меморије је много спорији него припступ кеш меморији. То је меморија гдје до изражаја долази дохватања података унаприје. То уствари представља ситуацију када компјутерски хардвер предвиђа којим подацима ће се приступати наредни пут када се затражи приступ меморији, а затим се превентивно повлачи из системске, спорије меморије, у бржу како би подаци били спремни одмах када затребају. Коришћењем оваквог хардвера добија се лијеп пораст преформанси на предиктивним израчунавањима.

Ако као примјер узмемо итерирање кроз низ елемената, хардверска јединица за превентивно узимање података може да повуче групе података у брзу кеш меморију. Када дође вријеме да процесор приступи неком од наредних елемената низа, потребни подаци се већ налазе у кеш меморији и нема потребе да се приступа системској меморији и да се губи доста процесорког времена. За податке који су тијесно спаковани, тј. налазе се у меморији једни поред других у континуитету, као што су елементи низова, хардвер за повлачење података у кеш лако може довући праве податке. Међутим, уколико се ради о објектима који су разбацани у *heap* меморији, постаје немогуће да хардвер довуче податке који ће се заиста користити при следећем приступу меморији, и довлаче се бескорисни подаци, тако да немамо никакву уштеду у временз извршавања.

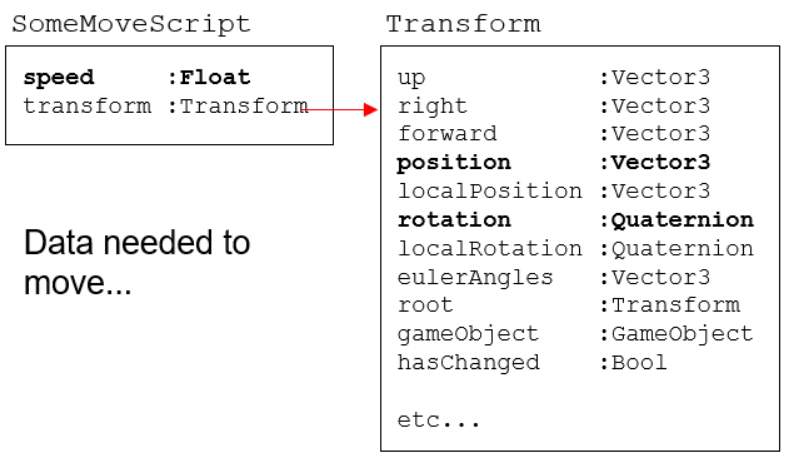
Баш такав примјер имамо у OOP дизајну при развоју видео игара, као што је приказано на слици 3.3.1.2. Слика приказује случајну спорадичну природу ове методе складиштења података. Сваки *GameObject* садржи одређен броји компоненти, које се алоцирају у *heap* меморији, тако да имамо разбаацане објекте са великим бројем референци. Приступ компонентама је врло чест, а често је потребно и да приступимо више компоненти у истом тренутку када мјењамо стање неког објекта, а дешава се да је потребно промјенти и стање више сличних објеката који су такође разбацани по меморији. При сваком дохватању компоненти или објеката морамо да приступимо системској спорој меморији, јер је немогуће предвидјети која је то компонента која ће се следећа корсити, па је овакав дизајн критичан према преформансама.



Слика 3.3.1.2 Референце у меморије између објекат, њиховог понашања и њихових компоненти

Као додатак на све то, сваки од тих референтних типова садржи пуно додатних података којима можда неће бити потребно да се приступити. Ови неискоришћени чланови такође заузимају драгоцјен простор у кешу процесора. Ако је потребно само неколико изабраних променљивих чланова постојеће компоненте, остало се може сматрати изгубљеним простором, као што је приказано на слици 3.3.1.3.

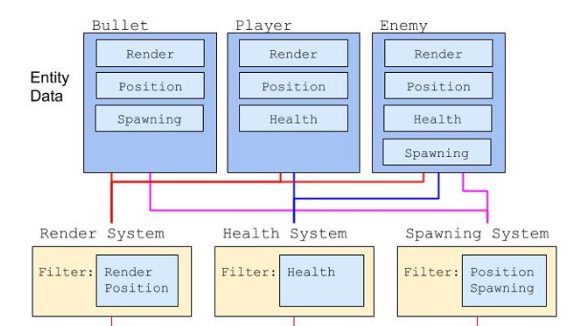
Како би се извршило помјерање *GameObject* коришћењем неке написане скрипте потребно је да приступимо позицији и ротацији, који су чланови компоненте *Transform*. Када хардвер дохвата податке из меморије, кеш меморија се попуњава и са свим осталим члановима ове компоненте који представљају бескорисне податке. Зато би било врло згодно када би било могуће да имамо само низ позиција и ротација за сваки *GameObject* за који била потреба да се помјери у неком тренутку.



Слика 3.3.1.3 Чланови који се стварно користе за операцију кретања и изгубљени простор

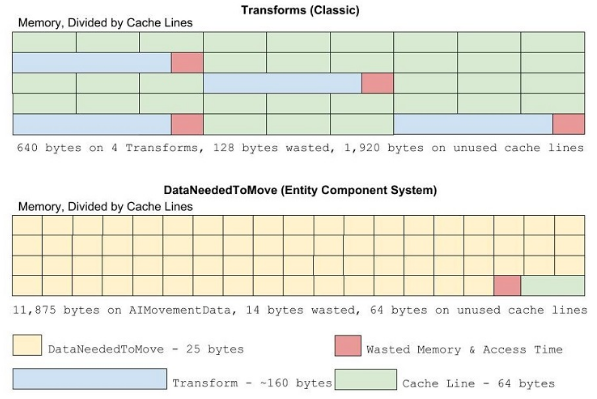
Entity Component System архитектура помаже у уклањању неефикасног референцирања објеката. Уместо *GameObject-*аса сопственом колекцијом компоненти, размотримо ентитет који садржи само податке који су му потребни.

На слици 3.3.1.4 можемо примјетити да *Bullet* ентитет није повезан са компонентом *Transform* или *Rigidbody*. Ентитет *Bullet* су само сирови подаци који су изричито потребни за рад приликом ажурирања.



Слика 3.3.1.4 Еntity-Component-System примјер

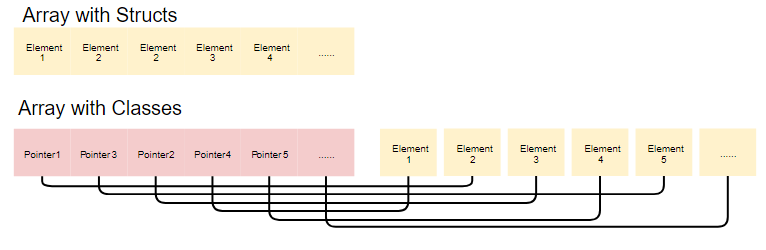
Наравно, није само систем за помјерање онај који има предност од оваког приступа. Још једна уобичајена компонента у многим играма су здравствени системи постављени у спектру непријатеља и савезника. Ови системи обично имају мало или нимало разлика међу врстама објеката, па су још један сјајан кандидат да искористе нови систем. Ентитет се користи за индексирање колекције различитих типова података који га представљају тј. компоненти. Системи могу филтрирати и радити на свим компонентама са потребним подацима без икакве помоћи програмера. Подаци су сви ефикасно организовани у чврсто спаковане сусједне низове. Предности овог система су огромне. Не само да побољшава вријеме приступа ефикасношћу кеш меморије, већ такође омогућава напредне технологије (аутоматска векторизација / SIMD) доступне у модерним процесорима којима је потребна ова врста поравнања података као на слици 3.3.1.5. Ово неоспориво даје перформансе у играма. Сваки кадар може учинити много више или учинити исто за много краће вријеме.



Слика 3.3.1.5 Фрагментација у кешу и неискоришћени простор при ОО дизајну

Све о чему смо причали, може се примјетити на конкретном примјеру два низа у програмском језику C#. Први низ представља низ структура или низ примитивних типова, а величина оваквог низа позната је у вријеме превођења, па је елементе низа могуће спаковати као сусједе у меморију. Ово није случај и код другог низа који представља низ класа. Због полимофрмизма, сваки елемент има другачију величину, па представња немогуће да их спакујемо једне до других у меморији. Умјесто тога, низ чува показиваче (данас 64-битне) на друга мјеста на *heap*-у где се чувају стварни подаци. Елементи се насумично распоређују у зависности од тога када су створени помоћу *„new“* оператора - а не када је низ створен. Највјероватније ће неки од њих бити стављени на секвенцијалну меморијску локацију, али други ће бити складиштени изоловано.

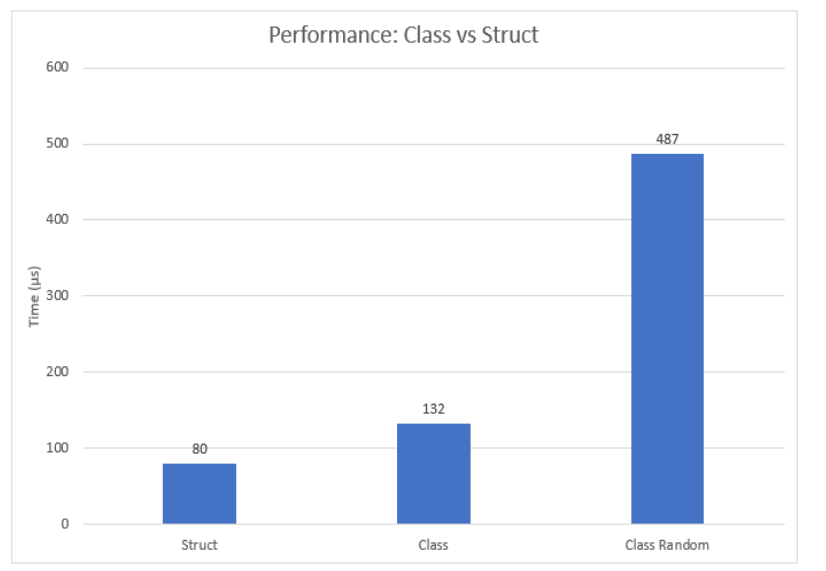
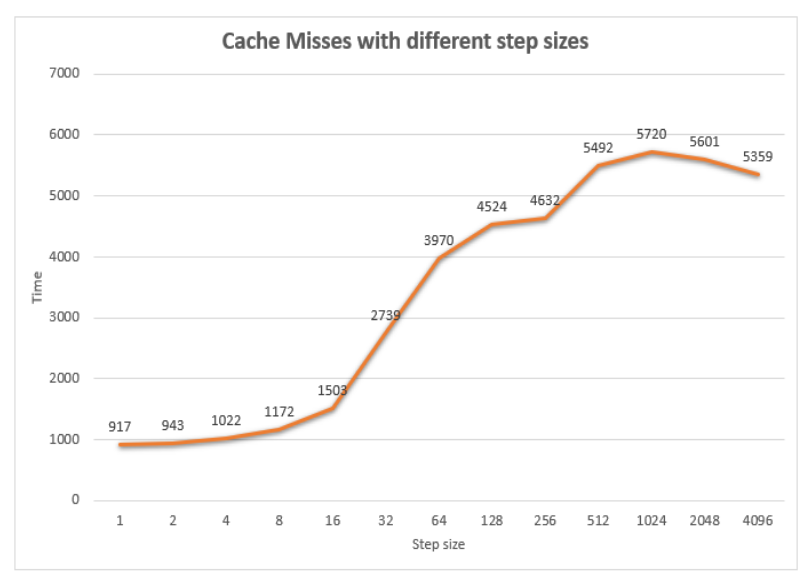
Примјер оваквог распоред у меморији приказан је на слици 3.3.1.6.



Слика 3.3.1.6 Распоред низоба и класа у меморији С#

* + 1. Поређење преформанси

На наредним сликама приказана је разлика у преформансама када се користи низ класа и низ структура. Тестирани низ садржи 1 милион елеменета што даје величину низа од 4MB [6].

Слика 3.3.2.1 Поређење преформанси C#

1. Детаљи имплементације

Имплементација Entity-Component-System архитектуре рађена је у програмском језику C++ користећи окружење *Visual Studio 2019*. Дизајн и примјена детаљно ће би приказани у овом поглављу користећи одређен број исјечака кода и дијаграма који помажу читаоцима да разумију основне концепте и архитектуру.

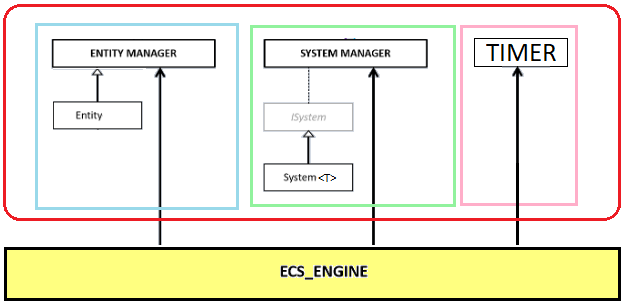
* 1. Entity-Component-System

Постоји више начина за имплементацију и примјену структура података које се користе. Сваки од тих начина свакако долази са својим предностима и слабостима. Заједнички циљ између свих приступа је тај да се покуша да се подаци ускладиште у меморији што је могуће непрекидније. Такође се поставља занимљиво питање: како ентитети, компоненте и системи међусобно комуницирају, ако су мање или више независни једни од других? Одговор се разликује у зависности од имплементације, али што се тиче начина који је образложен у овом поглављу главну везу између ентитета и система представљају саме компоненете.

Главне карактеристике моје архитектуре:

* скалабилност - лако је додати нове типове ентитета, компоненти и система без било које унапријед задате горње границе, осим меморије система
* флексибилност - не постоје зависности између ентитета, компоненти и система (ентитети и компоненте сигурно имају неку врсту зависности, али не садрже међусобну логику показивача)
* једноставно тражење/приступ објектима - лако проналажење ентитета и компоненти да би се извршило итерирање свих компоненти одређеног типа
* контрола протока - системи могу зависити једни од других, стога се може успоставити тополошки редослијед њиховог извршавања
* меморијска ефикасност – тежи се да се подаци смјештају што узастопније у меморији баш као што ће бити приказано у наредним подпоглављима

На слици 4.1.1 приказана су четри различита подручја у боји. Свака област дефинише модуларни дио архитектуре. Модул за управљање ентитетима и компонентама (плаво подручје) и модул за управљање системима (зелено подручје). *Timer* представља модул који је заслужен за праћење протока времена у систему (розо подручје). Ови модули се углавном баве задацима управљања објектима. На врху је модул, *ECS\_Engine*. Овај глобални објекат оркестрира све остале модуле и брине се о иницијализацији и уништавању. Ово је кратак и врло апстрактан преглед, који ће бити детаљније објашњен.



Слика 4.1.1 Aрхитектура ECS система

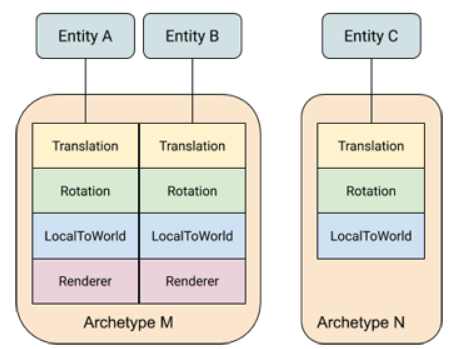
* + 1. Управљање ентитетима и компонентама

*EntityManager* је срце овог дијела имплементације. Преко њега се стварају и уништавају ентитети, додају и уклањају компоненате, ради филтрирање ентитета и све остало што је повезано са самим ентитетиам и компонентама. Класа *EntityManager* треба да управља свим објектима ентитета током извршавања апликације.

Како би могли да схватимо како то *EntityManager* управља ентитетима и компонентама потребно је упознати се како су исти смјештени у меморији. Уводе се два важна појма, *Archetype* и *Memory* *chunks* који ће бити објашњени у нередним пододјељцима.

* + - 1. **Archetype** – прототип

Јединствена комбинација типова компоненти назива се *Archetype*. На примјер, 3Д објекат може имати компоненту за своју трансформацију тј. промјену позиције, једну за своје линеарно кретање, једну за ротацију и једну за визуелни приказ. Свака инстанца једног од ових 3Д објеката одговара једном ентитету, али зато што дјеле исти скуп компонената, могу се класификовати као један *Archetype.*



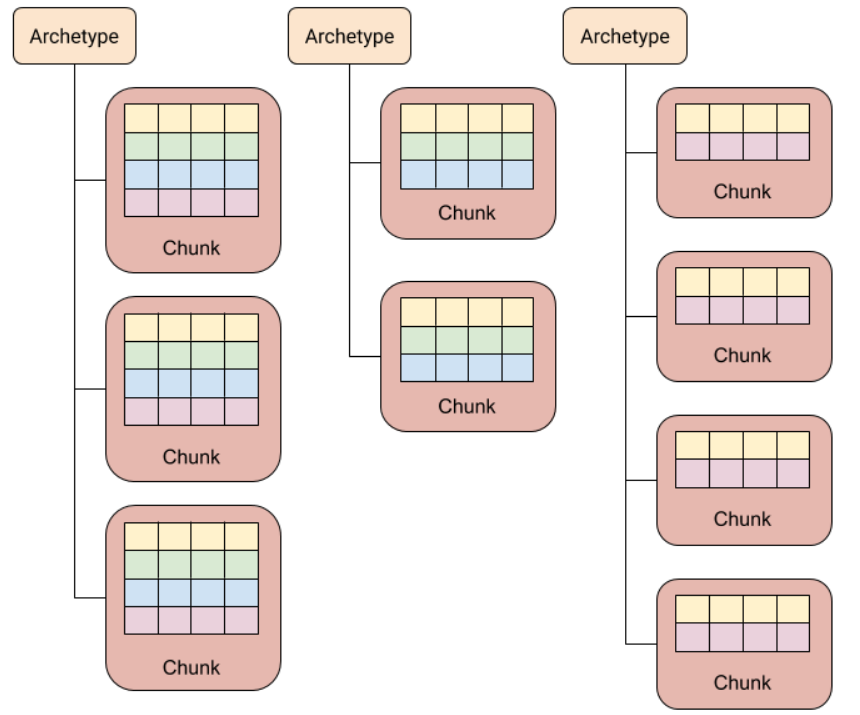
Слика 4.1.1.1 Archetypes у ECS-у

На слици 4.1.1.1 ентитети *А* и *B* дјеле *archetype М*, док ентитет *C* има *archetype* *N*. Могуће је лако промјенити *archetype* ентитета додавањем или уклањањем компоненти током извршавања. На примјер, ако уклонимо компоненту *Renderer* из ентитета *B*, онда се *B* премјешта у *archetype N*.

* + - 1. **Memory** **chunk** –„ комад“ меморије

*Archetype* ентитета одређује где се чувају компоненте тог ентитета. ECS додељује меморију у „комадима“. *Chunk* увек садржи цјелине једног *archetype*-а. Када се *chunk* меморије напуни, нови дио меморије додељује се за све нове ентитете створене са истим *archetype*. Ако се промјени *archetype* ентитета додавањем или уклањањем компоненти, компоненте за тај ентитет се премештају у други дио тј. у *chunk* новог *archetype-*а који има слободних мјеста .

На слици 4.1.1.2 приказан је начин на који су повезани *archetypes* и *chunks* у ECS-у.



Слика 4.1.1.2 Archetypes и Chunks у ECS-у

Ова организациона шема пружа однос један према више између *archetypes* и *chunks*. То такође значи да проналажење свих цјелина са датим скупом компонената захтјева само претрагу постојећих *archetypes*, који су обично малобројни, умјесто свих ентитета који су обично много већи.

Ентитети у „комаду“ меморије се не чувају у одређеном редоследу. Када се ентитет креира или промјени у нови *archetype*, он прелази у први „комад“ меморије који чува тај *archetype* који има мјеста. „Комади“ ипак остају чврсто збијени; када се ентитет уклони из *archetype*, компоненте последњег ентитета у комаду премјештају се у новоослобођена мјеста у низовима компоненти.

„Комади“ меморије су имплементирани тако да заузимају 16KB, како би могли да се поравнају са данашњом величином Л1 и Л2 кеша, како би се добиле најоптималније преформансе.

Компоненте у једном „комаду“ су смјеште на тај начин да иду све компоненте једне врсте, за тим све компоненте наредне врсте и тако за све компоненте које се налазе у том *archetype-*у. Овакво распоређивање компоненти је веома практично јер се у низовима компоненти на истом индексу налазе компоненте истог ентитета.

Као значајан додатак имплемантицији, треба поменути да се у *chunk*-у прије самих компоненти налазе сви ентити чије се компоненте налезе у том *chunk*-у.

* + - 1. **Ентитети и компоненте**

*EntityManager* управља свим ентитетима у систему. *EntityManager* одржава листу ентитета и организује податке повезане са ентитетима ради оптималних перформанси.

Иако ентитет нема тип, групе ентитета могу се категорисати по типовима компонената података повезаних са њима. Док креирате ентитете и додајете им компоненте, *EntityManager* прати јединствене комбинације компонената на постојећим ентитетима. Таква јединствена комбинација као што је већ споменуто назива се *archetype*. Постојећи *archetype*-ови се могу користити за стварање нових ентитета који су у складу са тим *archetype-*ом. Такође је могуће унапријед направити *archetype* користећи одговарајућу методу у класи *EntityManager* и помоћу тог *archetype* креирати ентитете.

У оквиру класе *EntityManager* постоје следеће методе за манипулацију ентитетима и компонентама:

* Креирање ентитета са компонентама користећи низ *ComponentType* објеката
* Уништавање једног ентитета на основу објекта тог ентитета
* Уништавање свих ентитета са одређеним скупо компоненти
* Додавање компоненте одређеног типа изабраном ентитету
* Уклањање компоненте одређеног типа изабраном ентитету
* Провјера да ли одређени ентитет има изабрану компоненту
* Креирање новог *archetype*-a
* Постављање или дохватање конкретне компоненти изабраном ентитету који већ садржи тај тип компоненте
* Креирање новог типа компоненте
* Постављање већ направљеног *archetype*-a изабраном ентитету
* Дохватање броја компонти за одређени ентитет
* Дохватање свих ентитета који постоје у систему
  + 1. Управљање системима

Систем пружа логику која трансформише податке компоненти из тренутног стања у следеће стање - на примјер, систем може ажурирати положаје свих покретних ентитета према њиховој брзини и временском интервалу од претходног ажурирања.

Унити ЕЦС аутоматски открива системске класе у вашем пројекту и покреће их током извођења. Системи су организовани у оквиру групе Ворлд. Помоћу системских атрибута можете да контролишете у коју групу се додаје систем и редослед тог система у групи. По дефаулту, сви системи се додају у Групу симулационих система подразумеваног света у детерминистичком, али неодређеном редоследу. Можете онемогућити аутоматско креирање помоћу системског атрибута.

Могуће је имплементирати једну или више наведених функција догађаја животног циклуса система:

* OnCreate() – позива се када се систем креира
* OnUpdate() – позива се на одређени временски интервал свек док систем има посла и док је омогућен
* OnDestroy() – позива се када се систем уништава

За управљање системима у апликацији задужен је *SystemManager*. Он чува све постојеће системе у оквиру апликације као хеш мапу, гдје ид система представља кључ, а сам систем вријеност. Могуће је да постоји само једна инстанца једног типа система. Када се систем креира он се мора додати преко *SystemManager*-а у споментут хеш мапу. Сваки систем може да има један или више система од којих зависи његово извршавање па је неопходно да *SystemManager* одржава и листу редослиједа извршавања система.

У оквиру класе *SystemManager* класе постоје следеће методе за манипулацију системима:

* Додавање система у листу свих система
* Дохватање инстанце система на основу типа система
* Омогућивање рада система одређеног типа
* Онемогућавање рада система одређеног типа
* Додавање завинсоти између система
  + 1. Архитектура као цјелина

Како би се ентитети, компоненте и системи држали на окупу направљен је објекат класе Engine. Овај објекат осигурава лаку интеграцију и употребу у клијентском софтверу. Овај објекат садржи по инстанцу *EntityManager*-a, *SystemManager*-a и *Timer*-a. На страни клијента треба само укључити заглавље „ECS.h“ и позвати *ECS :: Initialize()* методу. Позивом ове мотоде статички глобални објект класе Engine бити иницијализован и може се користити на страни клијента да би се добио приступ свим класама менаџера. *ECS::Terminate()* треба позвати прије изласка из главног програма. Ово ће осигурати ослобађање свих стечених ресурса.

* 1. ECS примјери коришћења

Упореди брзине стварања 1, 100, 1000 објеката...

1. Додатне могућности

Свакако, осим имплементације саме Entity-Component-Sytem архитектуре, која увелико доприности преформансама комплексних видео игара, како би *DOTS* био потпун могуће је имплементирати још низ додатних могућности.

У рачунарском систему са једном нити, само по једна инструкција се може учитати у неком тренутку и излази само по један резултат. Вријеме учитавања и довршавања програма зависи од количине посла који CPU треба да обави. *Multithreading* је врста програмирања која користи способност CPU да истовремено обрађује више нити у више језгара. Уместо да се задаци или упутства извршавају један за другим, они се извршавају истовремено. Такав примјер можемо да пронађемо у *Unity* тзв. *C# Job System* који се побрино да пружи програмерима погодну платформу за писање сигурног кода који се извршава у више нити, што додатно доприноси преформансама. Посао или *Job* је мала јединица рада која обавља један одређени задатак. Посао прима параметре и оперише подацима, слично ономе како се понаша позив методе. Послови могу бити самостални или могу зависити од других послова које треба обавити пре него што се покрену.

Наравно, не морамо да се за уставимо ни на овоме. *Unity* je одлучио да својим корисницима, пружи могућност додатних преформанси тако што је направио нови програмски преводилац такозвани *Burst Compiler*. Овај компајлер узима споменуте послове и производи високо оптимизовани машински код.

Дизајн орјентисан на податке, иако релативно нов дизајн, представља област за велики развој и напредак када је у питању развој видео игара. Развој аудио система, система за анимације, као и систем умрежавања код игара са више играча представљају само неке од поља на којима дизајн заснован на подацима тек треба да покаже своју моћ.

1. Порблеми

Иако су до сада спомињање само предности ECS архитектуре, битно је знати да постоје одређене мане, не само у имплементацији описаној у овом раду већ и у осталим програмима који се користе за развој игара, а имају имплементиран ECS, као што је *Unity*:

* Крива учења је врло стрма и непрестано се наилази на проблеме које је тешко рјешити без тражења рјешења на форумима или без заобилажења.
* ECS је је још увек у развоју чак и у напредним програмим као *Unity*
* API се и даље непрестано мијења
* Много документације недостаје или је застарјело. Такође је тешко пронаћи детаљне информације на *Google*-у. Често да би схватили неке концепте потребно је да сами тумачимо изворни код других имплементација ECS-a које постоје.

Ако посматрамо са гледишта програмера, постоји још једна ствар о ECS-у, коју можемо сврстати у мане. Концепт ECS-a је доста другачији од OOP програмирања на који смо сви навикли, и врло је тешко промјенити сам начин размишљања.

Here's a few points I gathered from my research:

Systems are very dependent on their ordering. Introducing new systems in between already existing Systems can be a challenge.

You also need to plan ahead your data as much as possible, since they will potentially be used by a LOT of systems. Changing the content of components could potentially break quite a few systems.

Although it's easy to debug the flow of a system, it's also harder to debug single component changes and not have a global view of what happened to the entity across all it's components. I'm not sure if Unity introduced new debug features for this.

If you're planning to use ECS in your team, introducing a new paradigm to devs that are not familiar with it could be a challenge. The onboarding time could be longer with more overhead.

1. Закључак

Ово подручје струке је врло динамично и комплексно. Теорија и пракса је до сада показала да је ООП једана од најраспрострањенијих архитектура због једноставности поимања програмских проблема, могућности проширивања кода и слично. Свим тим поступцима ООП је постајао лакши за рад програмеру, али тежи процесору. Како би се рјешио проблем преформанси програмери су одлучили да развију и користи ECS.

Преласком са објектно-орјентисаног дизајна на дизајн орјентисан на подакте, програмеру постаје много лакше да поново користи свој код, а другима да га разумију и раде на њему. Изненађујуће је лако додати нове ствари у игру, нове компоненте и системе. Када се једном постави богат темељ ентитета, компонената и система, готово је дјечија игра спојити их и из њих направити игру. Главна предност ове парадигме је што омогућава кориснику да управља својим подацима на флексибилан начини раздвајањем објеката на компоненте, којима се може управљати у дјеловима за мноштво ентитета у исто вријеме. Ова техника је изузетно корисна када маса треба поступати на сличан начин. Због овога, парадигма има историју и данас се често користи у механизмима за игре.

Једна веома битна могућност, као будући корак, јесте лакоћа паралелизације. Чувањем података што је више могуће само за читање омогућава дистрибуцију између вишеструко безбједних нити без страха од грешака у синхронизацији.

Битно је споменути да постоје и многи други начини имплементације структура података од приказаних у овом раду, али је ова изабрана као једна са од оних са најоптималнијим преформансама.

Поред свих предности ECS ипак није савршен одговор на све. Писање кода за изоловане објекте у ECS-у уводи одређене режијске трошкове и често се тешко навићи на рад са самом парадигмом, што може одложити почетну тачку пројекат значајно. Свакако ако је циљ постизање оптималних преформанси, што у развоју AAA игара врло често и јесте, ЕCS архитектура је неприкосовенa.

Литература

1. Steven Lambert, "Intro to Object-Oriented Programming for Game Development" (<https://gamedevelopment.tutsplus.com/tutorials/quick-tip-intro-to-object-oriented-programming-for-game-development--gamedev-1805#:~:text=What%20Is%20Object%2DOriented%20Programming,Crysis%20has%20over%20a%20million).>,05.09.2020.)
2. Toni Härkönen, "Advantages and Implementation of Entity-Component-System" (<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/27593/H%C3%A4rk%C3%B6nen.pdf?sequence=4&isAllowed=y>, 05.09.2020)
3. Vittorio Romeo, "Analysis of entity encoding techniques, design and implementation of a multithreaded compile-time Entity-Component-System C++14 library", July 2016. (<https://www.researchgate.net/publication/305730566_Analysis_of_entity_encoding_techniques_design_and_implementation_of_a_multithreaded_compile-time_Entity-Component-System_C14_library>, 06.09.2020.)
4. M. West, "Evolve your Hierarchy", 5 January 2017 (<http://cowboyprogramming.com/2007/01/05/evolve-your-heirachy/>, 06.09.2020.)
5. S. Bilas, "A Data-Driven Game Object System, Game Developer’s Conference", USA 2002. (<https://www.gamedevs.org/uploads/data-drivengame-object-system.pdf>., 06.09.2020.)
6. Arne Held, "Unity's “Preformance by Default“ under the hood", December 9,2019 (https://tech.innogames.com/unitys-performance-by-default-under-the-hood/, 09.09.2020.)

Списак скраћеница

|  |  |
| --- | --- |
| ECS | *Entity Component System* |
| OOP | *Object-Oriented Programming* |
| DOTS | *Data-Oriented Technology Stack* |
| VFX | *Visual effects* |
| SIMD | *Single instruction, multiple data* |
| CPU | *Central Processing Unit* |
| AAA | *Triple-A* |
| API | *Application Programming Interface* |

Списак слика

[Слика 2.4.1.1 Хијерархија класа аутомобила 3](#_Toc50757430)

[Слика 2.4.1.2. Дијамант структура класа 4](#_Toc50757431)

[Слика 2.4.1.3 Хијерархија објектно-орјентисане композиције 4](#_Toc50757432)

[Слика 2.4.2.1 Објекти у ООP повезани великим бројем референци 5](#_Toc50757433)

[Слика 3.2.1 Ентитети, компоненте и системи као цјелина 7](#_Toc50757434)

[Слика 3.3.1.1 Примјер више *GameObject*-а и компоненти у ООP дизајну *Unity* 9](#_Toc50757435)

[Слика 3.3.1.2 Референце у меморије између објекат, њиховог понашања и њихових компоненти 10](#_Toc50757436)

[Слика 3.3.1.3 Чланови који се стварно користе за операцију кретања и изгубљени простор 10](#_Toc50757437)

[Слика 3.3.1.4 Еntity-Component-System примјер 11](#_Toc50757438)

[Слика 3.3.1.5 Фрагментација у кешу и неискоришћени простор при ОО дизајну 11](#_Toc50757439)

[Слика 3.3.1.6 Распоред низоба и класа у меморији С# 12](#_Toc50757440)

[Слика 3.3.2.1 Поређење преформанси C# 12](#_Toc50757441)

[Слика 4.1.1 Aрхитектура ECS система 14](#_Toc50757442)

[Слика 4.1.1.1 Archetypes у ECS-у 14](#_Toc50757443)

[Слика 4.1.1.2 Archetypes и Chunks у ECS-у 15](#_Toc50757444)

Списак табела

[Табела 3.3.1. Образац за изглед табеле 24](#_Toc50328609)

Табела 4.2.1 Образац за изглед табеле

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **величина 1** | **величина 2** | **величина 3** | **величина 4** | **величина 5** | **величина 6** | **величина 7** | **величина 8** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |