



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

ATTE VIBERG

Videopelien graafinen ulkoasu

TIETOJENKÄSITTELYN TUTKINTO-OHJELMA
2023

TIIVISTELMÄ

Viberg, Atte: Videopelien graafinen ulkoasu
Opinnäytetyö, AMK
Tietojenkäsittelyn tutkinto-ohjelma
Toukokuu 2023
Sivumäärä: 38

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia videopelien graafista ulkoasua, miten sitä hyödynnetään videopeleissä ja miten sitä tullaan mahdollisesti käyttämään tulevaisuudessa.

Työssä käydään läpi videopeleissä käytettäviä graafisia ratkaisuja ja tekniikoita, joilla luodaan pelien kuluttajille sulava ja toimiva viihdekokonaisuus, sekä miltä alan tulevaisuus tulee näyttämään ja mitä teknologiaa tullaan mahdollisesti käyttämään.

Avainsanat: tietokoneet, pelikonsolit, mobiililaitteet, videopelit, grafiikka

ABSTRACT

Viberg, Atte: Graphic design of video games

Bachelor's thesis

Business Information Systems

May 2023

Number of pages: 38

The purpose of the thesis is to examine the graphical design of video games, how it is used in videogames and how it is possibly used in the future.

The thesis goes through graphical design choices used in videogames, and technologies which create smooth and functional entertainment experience for game consumer, as well as ponder what the future of the industry will look like and what technologies will be used in the future.

Keywords: computers, gaming consoles, mobile devices, videogames, computer graphics

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	5
2 NÄYTÖNOHJAIN	6
3 GRAAFISET TYYLIT VIDEOPELEISSÄ.....	6
3.1 Abstrakti graafinen tyyli	7
3.2 Tyylitelty graafinen tyyli	8
3.2.1 Liioiteltu tyylittely.....	9
3.2.2 Minimaalinen tyylittely.....	9
3.2.3 Pixel Art & Sprite.....	10
3.2.4 Cel-Shading.....	11
3.3 Realistinen graafinen tyyli	12
3.3.1 Fotorealismi.....	12
3.3.2 Tyylitelty realismi	13
4 GRAAFISET ULOTTUVUUDET	14
4.1 2D	14
4.2 3D	15
4.3 2.5D	15
4.4 Lisätty todellisuus.....	16
4.5 Virtuaalitodellisuus.....	18
5 RESOLUUTIO JA KUVATAAJUUS.....	18
6 PELIMOOTTORIEN GRAAFISET TYÖKALUT	20
6.1 Draw Distance	20
6.2 Texture Atlas tai Proxy Mesh	21
6.3 Level of Detail.....	21
6.4 Frustum ja Occlusion Culling	22
6.5 Level Streaming	25
6.6 Dynamic Resolution Scaling.....	25
7 PELAAMISEN TULEVAISUUS.....	25
7.1 Tekoäly näytönohjaimen työkaluna ja Ray Tracing.....	26
7.2 Matkalaitteet pelimaailmaan	26
7.3 Virtuaalitodellisuuden nousu	28
7.4 Sword Art Online, NerveGear ja FullDive teknologia	28
7.5 Varjo ja OpenBCI.....	29
7.6 Grafiikan tulevaisuus	30
8 LOPUKSI	31

1 JOHDANTO

Videopelin graafinen ulkoasu on yksi tärkeimmistä pelinkehityksen elementeistä. Pelin ulkonäkö on pelaajan ensimmäinen kosketus pelin maailmaan ja pysyy yhtenä tärkeimmistä elementeistä pelin tarinan kertomisessa.

Tämä opinnäytetyö käy läpi videopelien käytetyimmät graafiset tyylit ja visualisointitavat, sekä kertoo, kuinka ne tuovat eloon pelin maailman. Vuosia sitten tietokoneiden ja konsolien fyysiset laitteistot olivat rajoite pelin graafiselle ulkonäölle, mutta nykypäivän kehittyneet laitteet ja ohjelmistot mahdollistavat lähes rajattomat mahdollisuudet pelien monipuoliselle ulkonäölle. Esimerkkejä löytyy sekä suurien peliyhtiöiden peleistä, kuten kuvassa 1 oleva fotorealistinen lentosimulaattoripeli Microsoft Flight Simulator, että pienempien indie-studioiden luomuksista.



Kuva 1. Microsoft Flight Simulator 2020, lentosimulaattoripeli, jonka graafiset asetukset voi asettaa fotorealistiselle tasolle, luoden laadultaan kuvan minkä voi nopealla vilkaisulla erehtyä luulemaan kuvaksi todellisuudesta

2 NÄYTÖNOHJAIN

Näytönohjain, myös tunnettu nimellä grafiikkasuoritin, on mikroprosessori, jonka tehtävänä on suorittaa 2D- ja 3D-grafiikan renderöintiä. Näytönohjaimet tietokoneissa tulevat pääosaisesti kahdessa muodossa: integroituna prosessoriin tai erillisenä komponenttina, joka liitetään emolevyyn. Integroidut näytönohjaimet ovat yleisesti paljon matalatehoisempia ja ne ovat käytännöllisiä perustietokoneissa, joiden työtehtäviin kuuluu vain simppeleiden 2D-ohjelmien tai videoiden suorittaminen. Pelaamiseen yleensä käytetään erillistä näytönohjainta, joka on kykeneväinen vetämään paljon enemmän virtaa omasta, mahdollisesti useammasta, virtakaapelista tietokoneen sisällä, sekä omaa useampia täysin näytönohjaimen toiminnalle omistettuja komponentteja. Erillisten näytönohjainten iso koko johtuu suurista jäähdytysosista ja -tuulettimista, joiden tehtävänä on pitää grafiikkasuorittimen lämpötila kurissa suuressakin työtaakassa. (Phillips, 2022.)

Näytönohjaimen päätehtävä on renderöidä kuva näytölle. Se prosessoi ohjeistukset ohjelmilta ja muuttaa ne visuaaliseen muotoon näytölle. Näytönohjain suorittaa useita ohjeita samanaikaisesti ja päivittää sisäistä muistiaan määrittääkseen, mitkä näytön pikseleistä on muutettava. Tulos sen jälkeen toimitetaan näytölle, ja lopputuloksena saadaan sulava kuvasarja, joka näyttää liikkavalta kuvalta. Näytönohjaimet ei myöskään ole rajattu keksintö vain tietokoneilla. Ne ovat myös läsnä esimerkiksi älypuhelimissa, tableteissa, pelikonsoleissa, ja kaikissa muissa laitteissa, joissa on jonkinlainen visuaalinen käyttöliittymä. Vaikka komponentin muoto vaihtelee laitteiden välillä, sen tarkoitus pysyy samana, luoda kuva näytölle. (Phillips, 2022.)

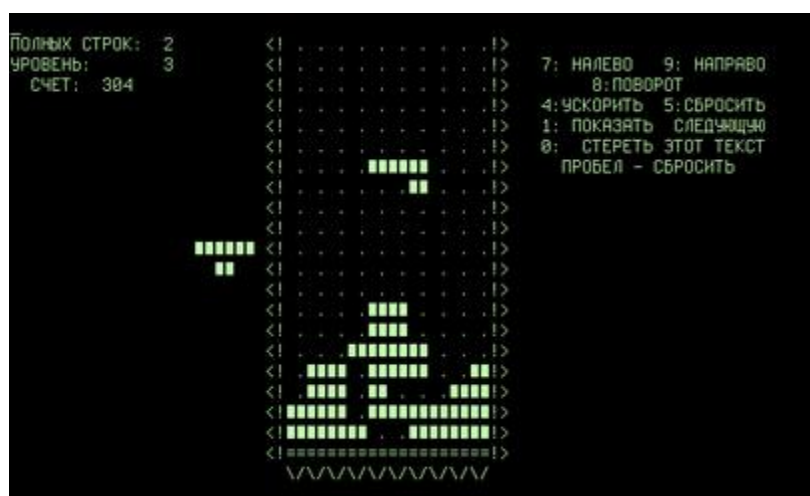
3 GRAAFISET TYYLIT VIDEOPELEISSÄ

Grafiikka on kuvan tai objektin visuaalinen kuvaus. Videopelin grafiikka on visualisoitu pelin sisältö. Se, miten tämä sisältö tuotetaan ja miltä se näyttää, riippuu paljolti tietokoneen laitteistosta, esimerkiksi näytönohjaimesta, tietokoneen ohjelmistoista ja näyttölaitteesta. Tietokoneen grafiikka voi olla kaksi- tai kolmiulotteista. Aikaisimmat

tietokoneet tukivat ainoastaan kaksiulotteista, yksiväristä kuvaa. Riippuen tietokoneen näyttölaitteesta, kuvitus oli joko mustavalkoinen tai mustavihreä. Myöhemmin koneet alkoivat tukea värillistä näyttöpäätettä, mutta värien määrä oli vielä rajautunut 16 tai 256 väriin. Nykyiset tietokoneet ovat kykeneväisiä esittämään jopa miljoonia värejä. (Christensson, 2009.)

3.1 Abstrakti graafinen tyyli

Abstrakti graafinen tyyli on omalaatuinen, eikä millään abstraktilla tyylillä kuvatulla asialla tai kappaleella ole selkeää vastakappaletta todellisuudessa (99designs, n.d.). Abstrakti tyyli ei suoranaisesti simuloi hahmoa tai helposti tunnistettavia sijainteja. Puhtaan abstrakteja pelejä on kuitenkin erittäin vähän, koska suurin osa peleistä yrittää simuloida edes jonkinlaista ympäristöä (Järvinen, 2002). Kaksi klassisinta abstraktin graafisen tyylin peliä ovat Pong vuodelta 1972 ja Tetris vuodelta 1984, joista toinen on kuvassa 2.



Kuva 2. Ensimmäinen versio Tetris-pelistä.

Abstraktin pelin kanssa voidaan hyvin keskittyä pelin pelattavuuteen. Samalla voidaan luoda näyttävän näköinen peli, kun pelin ympärille ei välttämättä tarvitse rakentaa suurta, monimutkaista tai elävän tuntuista maailmaa tai tarinaa. Yksi tunnetumpia moderneja abstrakteja pelejä on Geometry Dash (Kuva 3). Peli julkaistiin alkujaan mobiililaitteille 2013 ja myöhemmin tietokoneille 2014. Peli on ideaaltaan suoraviivainen ja käyttää yksinkertaista nappulan tai puhelinruudun painallusohjausta, joka on helppo

toteuttaa myös mobiililaitteella, fyysisesti rajoittuneessa käyttöympäristössä. Mobiilipelinä aloittanut peli on hyvä esimerkki abstraktista grafiikasta.

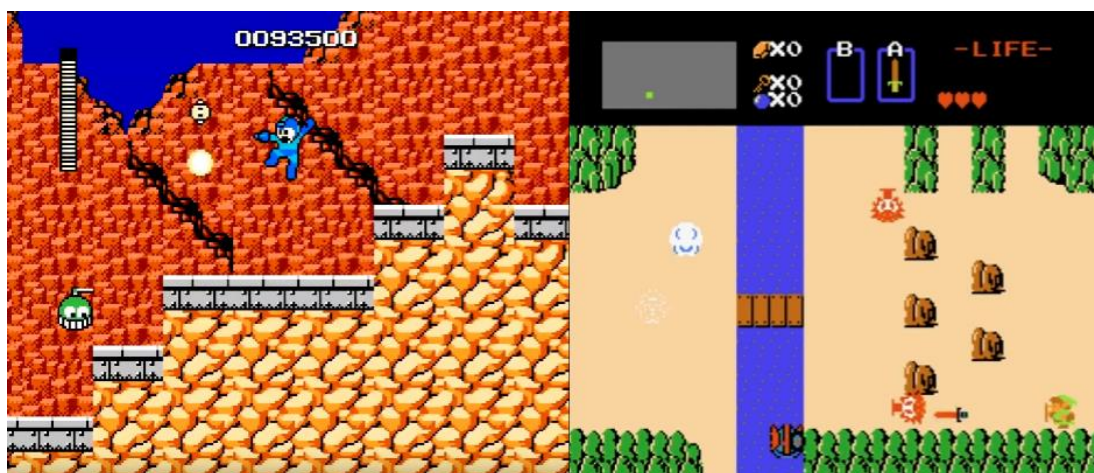


Kuva 3. Kuvia Geometry Dash -pelin graafisesta tyylistä

3.2 Tyylitelty graafinen tyyli

Tyylitellyssä grafiikassa objektia kuvataan minimaalisesti tai liioitellusti, kun sitä verrataan realistiseen objektiin. Tarkoituksena on joko lisätä tai häivyttää realismille olennaisia yksityiskohtia ja luoda tehostettu näkemys kohteesta. Koska käsitys tyylitellystä grafiikasta on laaja, sen luomiselle ei ole tiukkoja ohjeistuksia. (Tokarev, 2017.)

Tyylitellyn grafiikan kausi alkoi jo 8-bittisellä aikakaudella. Puhtaan abstraktin grafiikatyylin sijaan monet videopelit jo vuosikymmenestä 1970 eteenpäin olivat raskaasti tyyliteltynä. Tähän aikaan tyylittely oli myös ainoa toinen vaihtoehto abstraktin tyylin rinnalla, koska ajan laitteistot eivät olleet tarpeeksi tehokkaita luomaan realistista grafiikkaa. (Järvinen, 2002.) Esimerkkejä raskaasti tyylitellyistä peleistä on kuvassa 4.



Kuva 4. Mega Man (1987) ja Legend of Zelda (1986)

3.2.1 Liioiteltu tyylittely

Liioitellun tyylin kohteena on yleisimmin objektin muoto ja siluetti, ja kohdistus on isoissa yksityiskohdissa ja muodoissa. Muotoa usein liioitellaan esimerkiksi suurentamalla tai poistamalla pienempiä yksityiskohtia sen mukaan, kuinka objektin ominaisuuksia halutaan ilmaista. (Tokarev, 2017.)

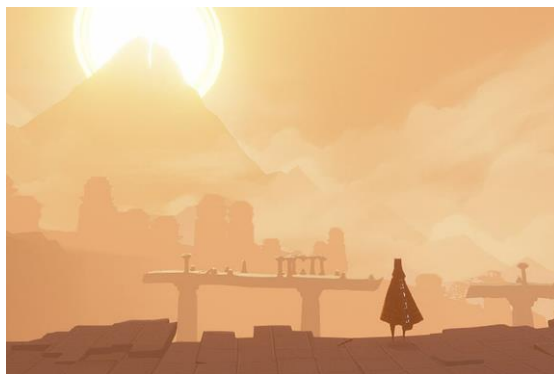
Monet fantasiapelit käyttävät liioiteltua tyylittelyä, koska liioitellun tyylittelyn yhteydessä voi pelimaailmaan luoda lähes mitä tahansa ja saada sen näyttämään maailmaan sopivaksi. Esimerkkinä on kuva 5, World of Warcraft pelin kääpiöhahmot ovat lyhyitä, mutta silti erittäin tukevarakenteisia ulkomuodoltaan.



Kuva 5. Esimerkki liioitellusta tyylittelystä, World of Warcraft pelin kääpiöt

3.2.2 Minimaalinen tyylittely

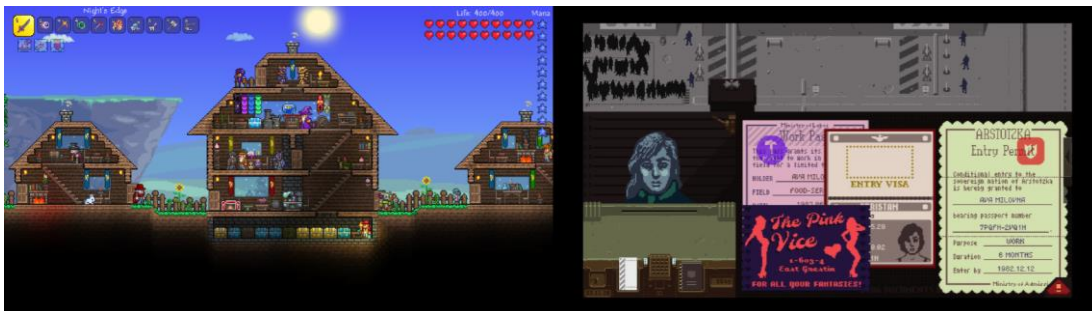
Minimaalinen tyylittely on ulkonäöltään nimensä mukaisesti minimaalinen verraten liioiteltuun tyylittelyyn. Värien ja muotojen käyttö on tarkoituksellisesti minimoitu, elementtejä on yksinkertaistettu ja yksityiskohtia karsitaan pois tarkoituksellisesti. (Tokarev, 2017.) Alla olevasta kuvasta 6 näkee hyvin yksinkertaistetun värimaailman pelistä The Journey, kuinka värit ovat tasaiset ilman suurempia korostuksia sekä etuettä taka-alalla.



Kuva 6. Esimerkki minimaalisesta tyylistä, The Journey (2012)

3.2.3 Pixel Art & Sprite

Pixel Art eli pikselitaide on kuvaus rasteri- tai bittikarttagrafiikalle, joka on luotu ja muokattu pikselitasolla. Suurin osa 8-bittisen sukupolven sekä suuri osa 16-bittisen sukupolven peleistä luokitellaan pikselitaiteeksi. Vielä nykypäivänäkin osa pelinkehittäjistä päättää tehdä pelejä pikselitaiteella (kuva 7), koska se luo vanhan ja uniikin oloisen tuntuman peliin ja pikselitaiteen tuottaminen on nopeampaa ja järjestelmältä vähemmän vaativaa kuin raskaamman 3D-mallinnuksen tuottaminen. (Giant Bomb, n.d.)



Kuva 7. Esimerkkejä pikselitaidetta käyttävistä peleistä, Terraria (2011) ja Papers Please (2013)

Sprite-grafiikka on yleisimmin pixel art -tasolla luotu kuvasarja, jonka avulla pystytään luomaan illuusio objektin liikkeestä. Peleissä sprite-grafiikkaa on käytetty 1970-

luvulta asti. Kuvasarjat sisältävät vähintään kaksi kuvaa, jotka käydään läpi järjestyksessä. Yksi helpoimmista esimerkeistä sprite-grafiikan käytöstä on hahmon liikkumisen, kuten juoksun (kuva 8), simulointi. (Jacob, n.d.)



Kuva 8. Megaman hahmon sprite-kuvasarja hahmon juoksemiselle

3.2.4 Cel-Shading

Cel-shading, tai toon shading, on kolmiulotteisen grafiikan renderöintitekniikka, jolla voidaan luoda perinteinen kaksiulotteinen ulkonäkö käyttäen tasaisia värejä kolmiulotteisen objektin varjostamisessa (Unreal Engine, n.d.a). Cel-shadingia käytetään pääasiallisesti saavuttamaan käsin piirretyn näköistä laatua 3D-pohjaisilla malleilla (Kuva 9). Cel-shading toimii luonnollisesti hyvin liioitellun ja värikkään graafisen tyylin kanssa.



Kuva 9. Esimerkki normaalisti renderöidyn hahmon (vasen) ja Cel-shading renderöidyn hahmon (oikea) erosta. Hahmo Potemkin pelistä Guilty Gear Xrd (2016)

3.3 Realistinen graafinen tyyli

Kirjallisuudessa ja taiteessa, realismi tarkoittaa asian todellista esittämistä ilman minikäänlaista ihannointia tai keinotekoisuutta (Merriam-Webster n.d.). Peleissä realismi yrittää jäljitellä hahmoja, objekteja ja ympäristöjä mahdollisimman suurella tarkkuudella todellisuuteen. Täysin realistisen kuvan tavoittelu on kuitenkin laitteistollisesti erittäin raskasta sekä tietokoneelle, että grafiikan tuottajalle, joiden vuoksi täydellinen realismin tavoittelu ei ole vielä täysin mahdollista.

3.3.1 Fotorealismi

Suurin osa nykyisistä kolmiulotteisista videopeleistä käyttää rasterization-renderöintitekniikkaa. Tämä on algoritmi, joka renderöi 3D-näkymän 2D-näyttöpäätteelle. Tämän jälkeen valaistus ja varjot lasketaan valonlähteistä. Vaikka Rasterization-tekniikan lopputulos on hyvälaatuinen, se vaatii paljon töitä graafikoilta. (Scharr, 2013.)

Ray tracing, säteenseuranta (Kuva 10), on jo vuosia elokuva- ja animaatioaloilla käytetty tekniikka ja sillä voidaan luoda erittäin realistisen näköisiä 3D-näkymiä. Peliteollisuus on siirtymässä rasterization-tekniikasta ray tracing -tekniikkaan mutta muutos on hidas. Ray Tracing mahdollistaa varjojen ja valaistuksen luonnin helpommin graafikon näkökulmasta sekä on kykeneväinen luomaan entistä realistisemman kuvan, mutta on erittäin paljon vaativampi tietokoneen laitteistoille kuin rasterization-tekniikka. (Scharr, 2013.)



Kuva 10. Ray tracingin avulla luotu realistisen näköinen kuva

Fotorealismien tavoittaminen on kuitenkin vielä toistaiseksi hankalaa pelimaailmassa. Vaikka nykyteknologialla on mahdollista luoda kuva, joka voidaan todeta täysin fotorealistiseksi, sen tuottamiseen kuluu pitkä aika. Jos fotorealistsuus halutaan saavuttaa videopeleissä, säteenseurannan ympäri ei ole pääsyä ja tämä renderöinti pitäisi suorittaa reaaliajassa, mikä on ollut vielä valtava haaste graafikoille ja tietokoneen laitteistolle. (Scharr, 2013.)

3.3.2 Tyylitelty realismi

Tyylitelty realismi, tai semi-realismi, on tyylitellyn ja fotorealismien tyylin risteymä. Tyyli on määriteltävissä joistain liioitelluista ominaisuuksista, joita voi löytyä sarjakuvista, mutta sisältää myös selkeitä fotorealismille kuuluvia piirteitä. Tämä tyyli yleensä saavutetaan ensin luomalla tyyliteltyjä 3D-malleja ja animaatioita, joihin lisätään fotorealistiset tekstuurit, varjostukset ja valaistukset. (Anhut, 2016.) Yksi erittäin hyvä esimerkki tyylitellystä realismista on Final Fantasy XV, kuvassa 11.



Kuva 11. Final Fantasy XV (2013)

4 GRAAFISET ULOTTUVUUDET

Pelin graafinen ulottuvuus määrittää pelin yleisen ulkonäön ja pelimaailman syvyyden. Nämä eri ulottuvuudet tarjoavat uniikin pelikokemuksen ja visuaalisen tarjonnan pelille. Pelille valittu ulottuvuus vaikuttaa suoraan esimerkiksi pelin artistiseen ulkonäköön ja pelimekaniikkojen monimuotoisuuteen. Jokaisella ulottuvuudella on omat vahvuutensa ja heikkoutensa.

4.1 2D

Termi ”2D” viittaa peleihin, jotka luodaan grafiikoiltaan kaksiulotteisiksi ja joissa peliruutu esiintyy tasaisena, ilman syvyyttä. Pelit yleisesti etenevät ruudulla joko vasemmalle tai oikealle, joskus myös ylös tai alas. 2D-pelien tunnetuin piirre on niiden yksinkertainen ulkoasu ja yleensä myös yksinkertaisemmat kontrollit. 2D-pelit myös vaativat vähemmän prosessointitehoa, minkä vuoksi ne ovat ideaaleja pelejä vanhemmille koneille tai kannettaville laitteille, kuten kännyköille. (Polydin, 2023.)

4.2 3D

Termi “3D” viittaa peleihin, jotka ovat luotu käyttämään graafisesti kaikkia kolmea ulottuvuutta, antaen pelin objekteille todellisemman syvyyden, tilan ja perspektiivin tunteet. 3D-grafiikan käyttö mahdollistaa monimutkaisemman ja dynaamisemman pelimaailman luonnin. Myös pelimaailman objektit voidaan luoda tarkemmin, kun niitä päästään tutkimaan pelissä useammasta näkökulmasta. (Polydin, 2023.)

3D-grafiikat eivät kuitenkaan tule ilman heikkouksiaan. Vaikka 3D:n avulla voidaan luoda ultra-realistisen oloista grafiikkaa, sen käyttö peleissä vaatii paljon enemmän prosessointitehoa ja 3D-pelin tuottaminen on paljon 2D-peliä työläämpää. Tämän vuoksi suurin osa 3D-pohjaisista peleistä pääosaisesti päätyvät tietokoneille ja pelikonsoleille. (Kevuru Games, 2023.)

4.3 2.5D

Termi “2.5D” viittaa kaikkiin peleihin, jotka on luotu yhdistämällä 2D- ja 3D-pelien tekniikoita. Nykyisin termiä pääosin käytetään peleistä, joissa yhdistyy 2D-maailma ja 3D-elementit, mahdollistaen pelien luomisen visuaalisesti kolmiulotteiseksi, vaikka pelaaminen tapahtuu kaksiulotteisessa tilassa (Kuva 12). Pelaajalle harvemmin annetaan minkäänlaista kontrollia kameran käyttöön pelatessa, mutta kolmiulotteisuuden käyttö objekteissa mahdollistaa esimerkiksi näyttävämpien kohtausten tai ennalta kirjoitettujen tapahtumien luomisessa. Vanhemmissa 2.5D-peleissä oli yleensä kyse sprite grafiikkaa hyödyntävien objektien käytöstä kolmiulotteisessa maailmassa (Kuva 13). (Giant Bomb, 2023.)



Kuva 12. Kuvakaappaus 2.5-ulotteisesta pelistä Super Smash Bros. Ultimate (2018)



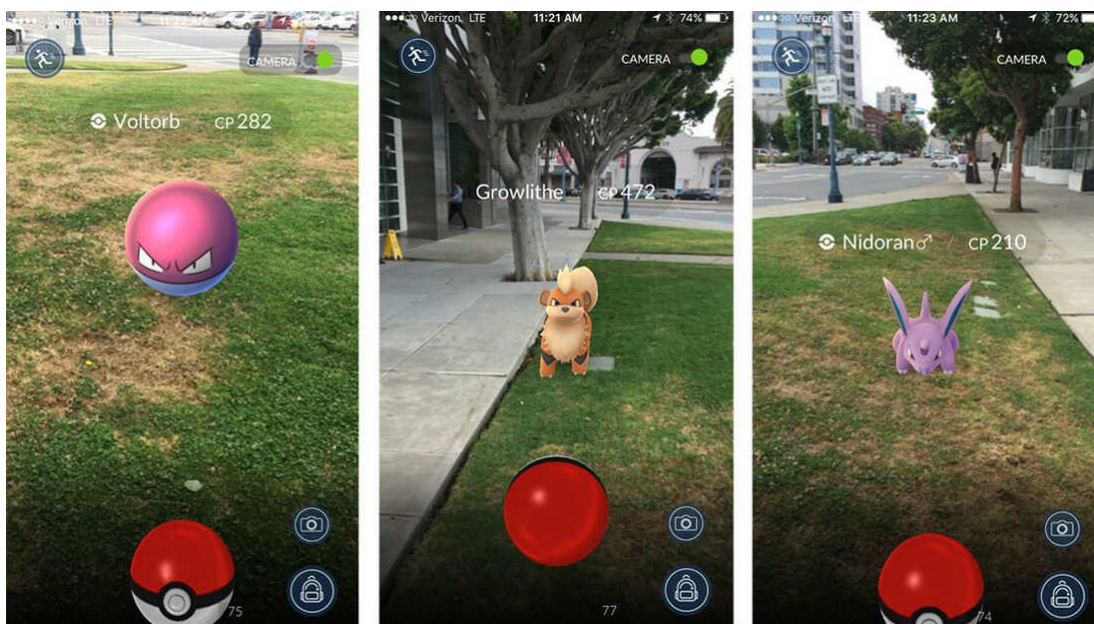
Kuva 13. Kuvakaappaus 2.5-ulotteisesta pelistä Duke Nukem 3D: 20th Anniversary World Tour (2016), uudelleenjulkaisu vuonna 1996 julkaistusta Duke Nukem 3D-pelistä

4.4 Lisätty todellisuus

Lisätty todellisuus on teknologia, joka päällystää tietokoneella generoituja kuvia todellisuuteen. Se on toiminnallisuudeltaan paljon kevyempi kuin virtuaalitodellisuus,

ja voidaan täten hyödyntää laitteilla, joilla on rajoitetumpi laitteistollinen tehon tarjonta. Lisätty todellisuus käyttää laitteen kameraa ja näyttöä, jossa kamera kuvaa ympäristöä ja näytölle johdetaan kameran kuvaama kuva sekä tietokoneellisesti generoidut objektit. Yleisimmät lisätyn todellisuuden laitteet ovat modernit älypuhelimet, mutta teknologiaa voidaan käyttää myös esimerkiksi tietokoneella nettikameran kanssa. Esimerkiksi Snapchat-filtrit hyödyntävät lisätyn todellisuuden teknologiaa. Selfie kuvaan voidaan lisätä erilaisia filttäreitä, jotka ovat tietokoneen generoimia lisäyksiä tai muutoksia kuvaan. (Hanson, 2023.)

Pelimaailmassa lisättyä todellisuudella ei ole ollut vielä varsinaista suurta käyttöä. Sen pystyy löytämään joistain peleistä, kuten esimerkiksi Pokemon Go, kuvassa 14, mutta se ei ole kuitenkaan noussut pelien päävaltiksi niiden myynnissä. Lisättyä todellisuudella voi kuitenkin olla tulevaisuudessa markkinansa, kun teknologia jatkaa kehittymistään, mobiililaitteet paranevat ja peliyhtiöt alkavat tutkimaan uusia markkinamahdollisuuksia erityisesti matkalaitteiden parissa.



Kuva 14. Lisättyä todellisuutta hyödyntävä peli Pokemon GO

4.5 Virtuaalitodellisuus

Virtuaalitodellisuuden määritelmä tulee, luonnollisesti, sanojen "virtuaalinen" ja "todellisuus" merkityksistä. Virtuaalitodellisuus on termi, joka kuvaa kolmiulotteista, tietokoneen luomaa ympäristöä, jota ihminen voi tutkia ja jossa hän voi olla vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa. Henkilö voi olla osa ympäristöä tai uppoutua tähän ympäristöön. Virtuaalitodellisuutta voidaan soveltaa useisiin käyttötarkoituksiin, kuten arkkitehtuuriin, urheiluun, lääketieteeseen, taiteeseen ja viihdykkeeseen. (Virtual Reality Society, n.d.)

Erityisesti peleissä, grafiikan oikea toteuttaminen virtuaalitodellisuudessa on entistä tärkeämpää, kun pelaaja on kirjaimellisesti pelimaailmassa sisällä. Virtuaalitodellisuuden ei kuitenkaan tarvitse täysin jäljittää itse maailmankaikkeuden todellisuutta, vaan grafiikan tarkoituksena on luoda immersio pelin maailmasta ja mikä tuntuu mahdolliselta itse pelin todellisuudessa. VR-pelien pelaaminen on kuitenkin laitteistollisesti raskasta ja itse VR-lasit, joiden kanssa pelejä pelataan, ovat vielä hintavia.

5 RESOLUUTIO JA KUVATAAJUUS

Pelimaailman yleisin standardi peileille on 1920x1080 pikselin (Full HD) resoluutio ja 60 hertsin kuvataajuus tietokoneella tai 30 hertsin kuvataajuus konsoleilla. Nämä ovat oletus laadukkaalle ja sulavalle pelaamiselle.

Konsolit ovat suljettuja ympäristöjä. Pois lukien tallennustilan, konsoleissa ei ole juuri mitään päivittämistä, mutta pelinkehittäjät tietävät tarkalleen laitteistojen rajoitukset. Tämä mahdollistaa helpomman kehitysympäristön, ja peli voidaan helpommin optimoida toimimaan oletetulla laadulla. Konsolit ovat myös yleensä liitettyinä TV:seen joka omaa korkeamman resoluution kuin FHD. Esimerkiksi Playstation 5 ensin renderöi pelin kuvan FHD-laadulla, jonka jälkeen se skaalataan suuremmaksi TV ruudulle. Useat älytelevisiot myös sisältävät omia kuvan liikettä tasoittavia ohjelmia, ja näiden yhdistelmä pystyy tuottamaan hyvätasoisen ja korkean tarkkuuden pelattavuuden, myös jopa 60 hertsin kuvataajuuden kokemuksen. (Gosnell, 2023.)

Tietokoneet puolestaan ovat avoimia ympäristöjä. Tietokone voidaan kasata lukemattomien näyttöohjainten, prosessorien, välimuistien, tallennustilojen ja näytön resoluutioiden yhdistelmistä. Tämän lisäksi tietokoneet ovat käyttöjärjestelmällisesti monikäyttöisiä laitteita, päinvastoin kuin konsolit, jotka ovat erikoistuneesti luotu pelaamiseen. Tietokoneessa on jatkuvasti muuta toimintaa taustalla, myös pelin ollessa päällä. Tämä kaikki vaikeuttaa pelin optimointia, ja sen vuoksi pelit vaativat laitteistollisesti enemmän tehoa tietokoneella kuin konsolilla saman laadun saavuttamiseksi samalla resoluutiolla ja kuvataajuudella. Tietokoneiden avoin ympäristö kuitenkin myös mahdollistaa grafiikan puskemisen paljon korkeammalle, kun käytössä voi olla erittäin tehokkaita komponentteja. (Gosnell, 2023.)

Toukokuussa 2023, Steam Hardware Surveyn mukaan noin 64,5% Steam-pelilyhteisön alustan käyttäjistä omaa FHD-resoluution päämonitorin (Steam Hardware Survey, n.d.). FHD-monitorien lisäksi tietokonepeleissä on pääosaisesti käytössä kaksi FHD:ta suurempaa resoluutiota, 2560x1440 (1440p tai Quad HD) ja 3840x2160 (4K tai Ultra HD). Korkeampi resoluutio mahdollistaa monimutkaisempien ja yksityiskohtaisempien tekstuurien esittämisen ja parantaa yleistä visuaalista tarkkuutta. Korkeampi tarkkuus helpottaa pelimaailmaan uppoamista, mutta nostaa grafiikan renderöintiin tarvittavaa työtä.

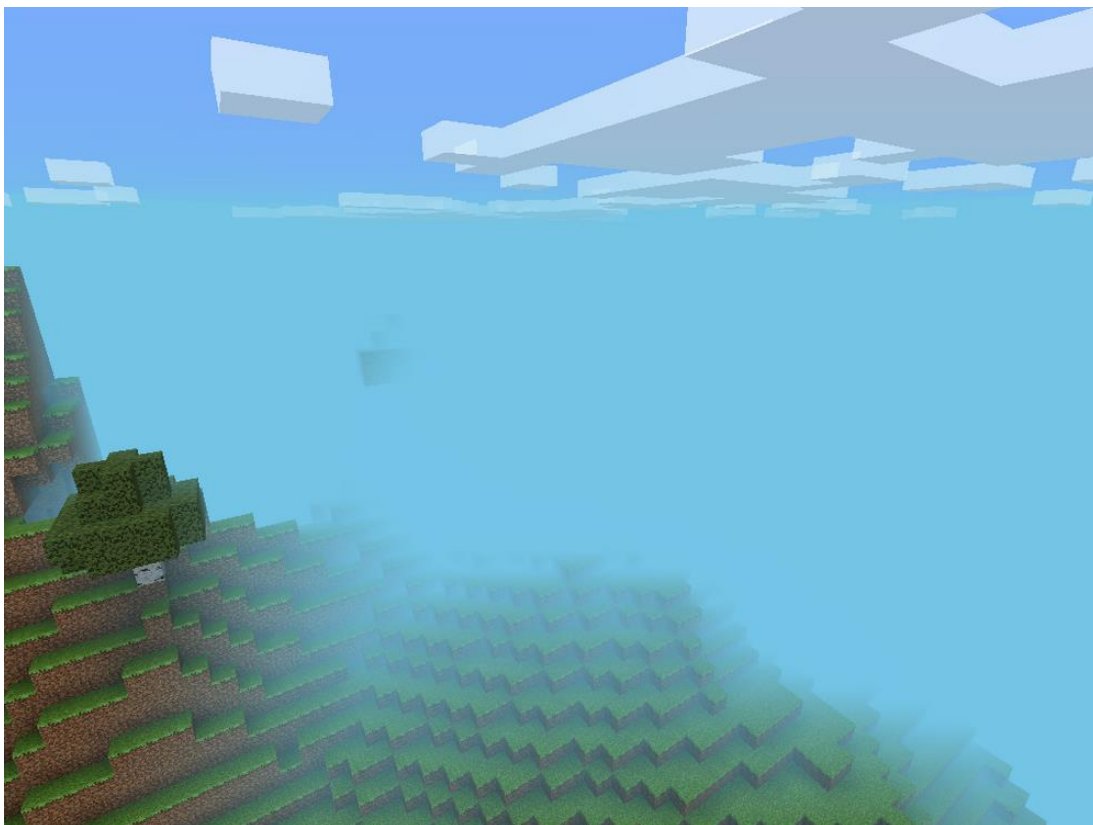
Suosittu kuvataajuus on enemmän riippuvainen pelatusta pelistä kuin yleisestä standardista, ja korkeampi näytön kuvataajuus on tietokoneelle suunnatumpi asia. Kuvataajuus vaikuttaa pelin sulavuuteen. Elokuvamaisissa ja immersiiivisissä peleissä korkeampi resoluutio saattaa olla halutumpi ominaisuus, kunhan kuvataajuus pysyy tasaisena, mutta nopeatempoisemmissa moninpeleissä, kuten ensimmäisen persoonan räis-kintäpelien, pelaajat suosivat korkeampia, jopa 240 hertsin kuvataajuuksia korkeamman resoluution sijasta.

6 PELIMOOTTORIEN GRAAFISET TYÖKALUT

Pelimoottoreilla, joilla tietokonepelit rakennetaan, on käytössä useita työkaluja, joiden avulla se pystyy hallitsemaan pelin sulavaa toimivuutta. Nämä työkalut toimivat yhdessä toistensa kanssa ja luovat pelin graafisen kokonaisuuden. Tämä osio esittelee yleisimmät pelien tekemisessä käytetyt, grafiikkaa hallitsevat työkalut.

6.1 Draw Distance

Draw Distance, eli piirtoetäisyys, on yksi simppelimmistä työkaluista keventää pelin suorittamisen taakkaa. Sen avulla voidaan asettaa etäisyys, minkä jälkeen objekteja ei enää renderöidä pelissä. Tätä tekniikkaa käytetään peleissä, joissa maailma on erittäin laaja, mahdollisesti loputon, kuten pelissä Minecraft. Piirtoetäisyyden rajaa voidaan peittää esimerkiksi hälventämällä rajaa sumulla (kuva 15).



Kuva 15. Minecraft maailmalle asetettu maksimi piirtoetäisyys lopettaa maailman loputtoman piirtämisen ja hälventää rajan sumulla

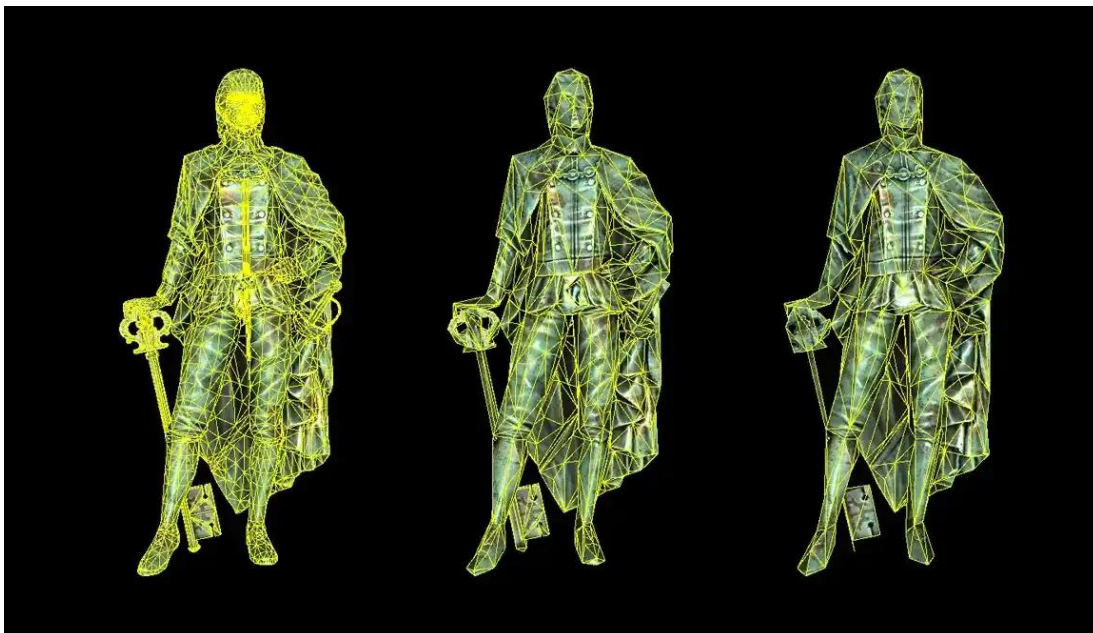
6.2 Texture Atlas tai Proxy Mesh

Texture Atlas, tai Proxy Mesh -tekniikalla luodaan objektin useista tekstuuritiedostoista yksi iso tekstuuritiedosto. Yksittäinen isompi tekstuuritiedosto on näytönohjaimelle helppokäyttöisempi, vähentäen objektien piirtokutsuja useasta eri tiedostosta yhteen tiedostoon. Täten myös useampi, samanlainen objekti on kykeneväinen käyttämään samaa tekstuuritiedosta, keventäen taakkaa entisestään sen sijaan, että jokaisesta duplikaatista objektista olisi näytönohjaimen muistissa myös duplikaatti tekstuuritiedosto. (Unreal Engine, n.d.b.)

6.3 Level of Detail

Level of Detail (LOD), on teknologia, jossa yhdestä 3D-mallista luodaan useita versioita, joita käytetään riippuen kuinka kaukana objekti on katsojasta. Mitä lähempänä objekti on kameraa, sitä yksityiskohtaisempaa mallia siitä käytetään. Kauempana olevista, vaikeammin nähtävistä objekteista voidaan käyttää simppelempiä malleja ja tekstuureja, vapauttaen tehoa käytettäväksi tärkeämpien, lähempänä olevien objektien renderöintiin. (Bonet, 2021.)

Kuvassa 16 on kolme erilaatuista esimerkkiä samasta patsaasta. Vasemmanpuoleisin patsas on luotu erittäin suurella tarkkuudella, erityisesti naaman sekä suuren avaimen kahvan alueella. Naaman tekstuureja kuvassa ei pysty edes näkemään, kun mallista käytetään wire-frame versiota, jossa 3D-mallin verteksit ja niitä liittävät viivat, jotka luovat 3D-mallin ulkomuodon, ovat näkyvissä. Kun patsasta tarkastellaan pelissä läheltä, se on erittäin yksityiskohtainen. Kuvan keskimmaisessä patsaassa naama on selvästi menettänyt yksityiskohtaisen ulkomuotonsa, mutta siihen maalattu tekstuuri riittää kauempaa katsottuna esittämään patsaan tarpeeksi yksityiskohtaisena. Kolmas patsas on erittäin matalalaatuinen ja esimerkiksi suuren avaimen kahva on menettänyt lähes täysin muotonsa. Tätä patsaan mallia kuitenkin käytetään vain erittäin kaukaiselta etäisyydeltä, jossa tämä epämuotoisuus ei ole käytännössä huomattavissa.

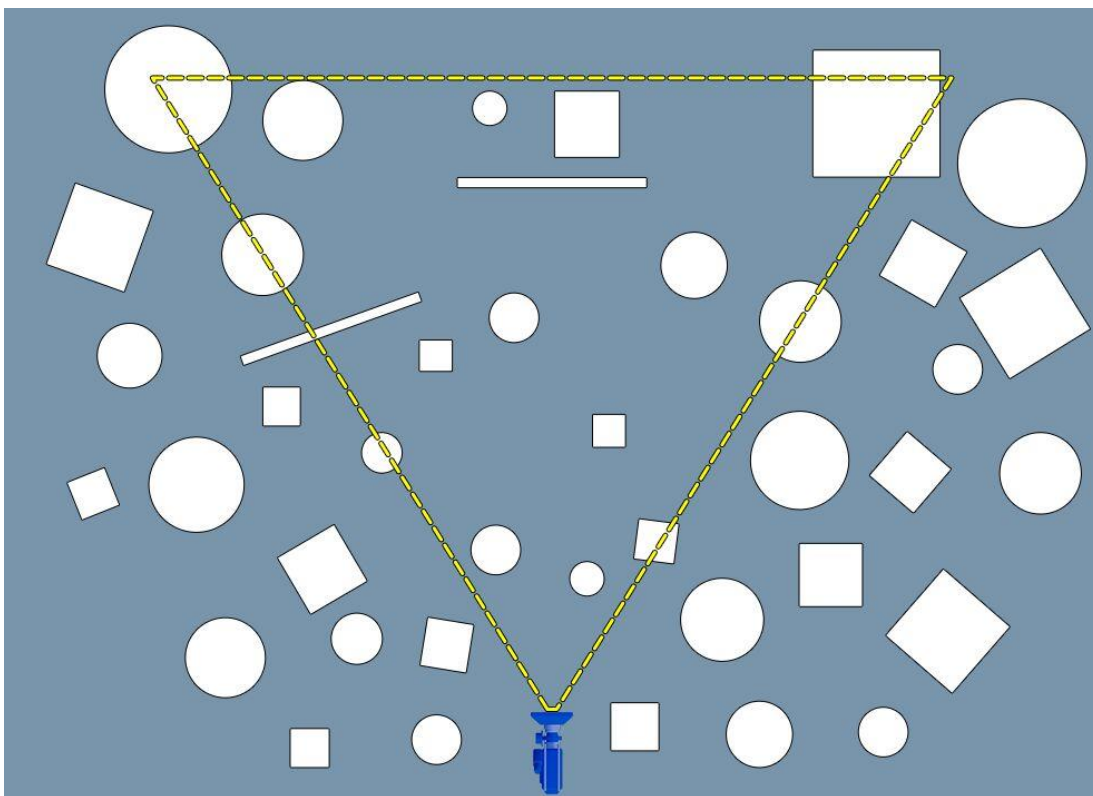


Kuva 16. Wire-frame malli patsaasta kolmella erilaatuisella tarkkuudella.

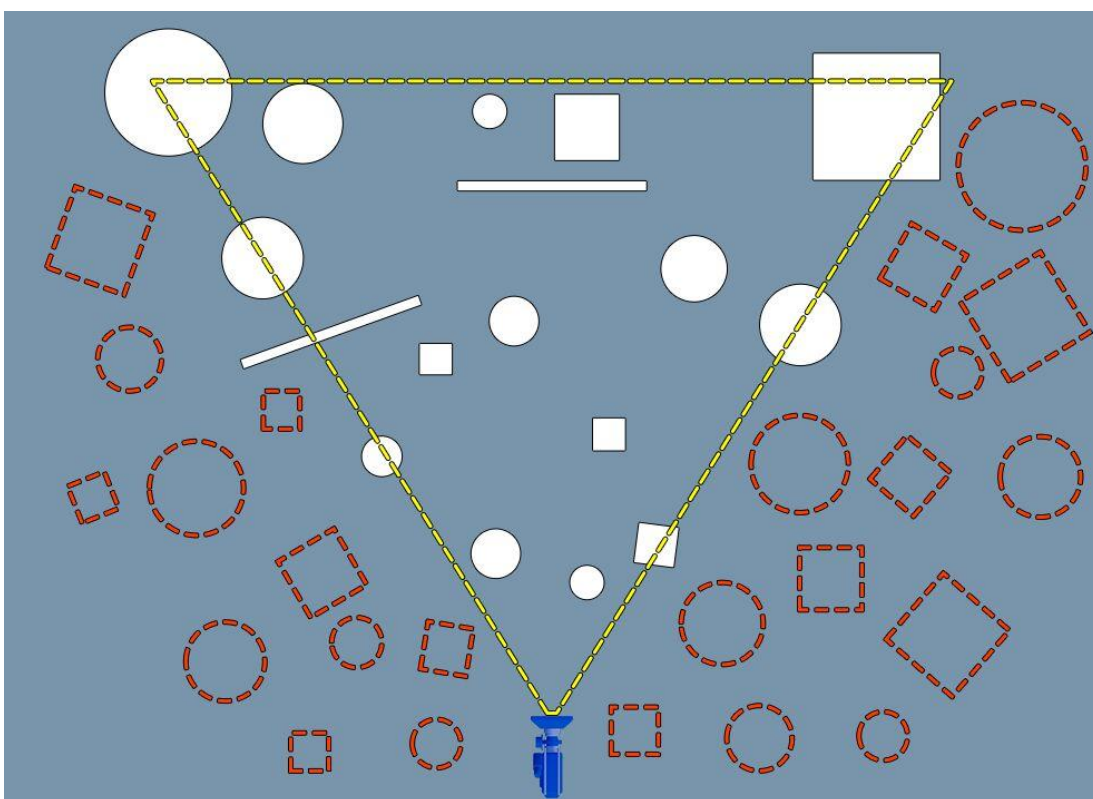
6.4 Frustum ja Occlusion Culling

Frustum ja Occlusion Culling ovat kaksi teknologiaa, joiden avulla voidaan määrittää, mitkä pelimaailman objektit renderöidään kuvaan. Molemmat teknologiat vähentävät omalla tavallaan renderöitäviä objekteja riippuen niiden näkyvyydestä pelaajalle, keventäen kuvan renderöinnin taakkaa. (Unreal Engine, n.d.c.)

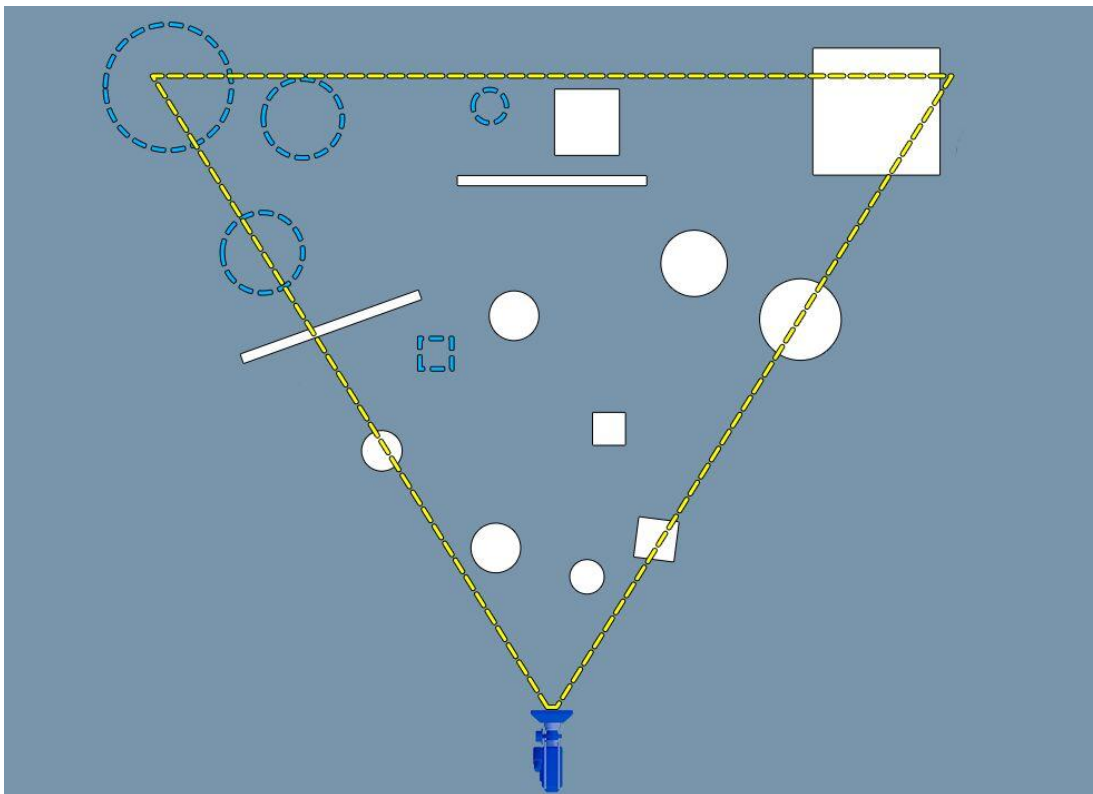
Kuvassa 17 on ylhäältä kuvattu esimerkki yksinkertaisesta pelimaailmasta, joka sisältää monenlaisia ja kokoisia objekteja. Sininen kamera merkitsee pelaajan sijainnin, ja keltainen katkoviiva pelaajan näkökentän. Kuvassa 18 suoritetaan Frustum Culling, missä kaikki pelaajan näkökentän ulkopuolelle täysin jääneet objektit, merkattu punaisilla katkoviivoilla, voidaan jättää renderöimättä. Ne eivät ole millään tavalla pelaajalle tällä hetkellä nähtävissä. Tämän jälkeen kuvassa 19 suoritetaan Occlusion Culling, jossa objektit, jotka ovat pelaajan näkökentässä, mutta kuitenkin muiden objektien takana, merkattu sinisillä katkoviivoilla, voidaan myös jättää renderöimättä kuvaruutuun. Kuvassa 20 on lopputulos jäljelle jääneistä, kuvaan renderöidyistä objekteista. Huomaa kuvan yläosassa seinän taakse jätetty kuutio, joka on nähtävissä seinässä olevan aukon läpi.



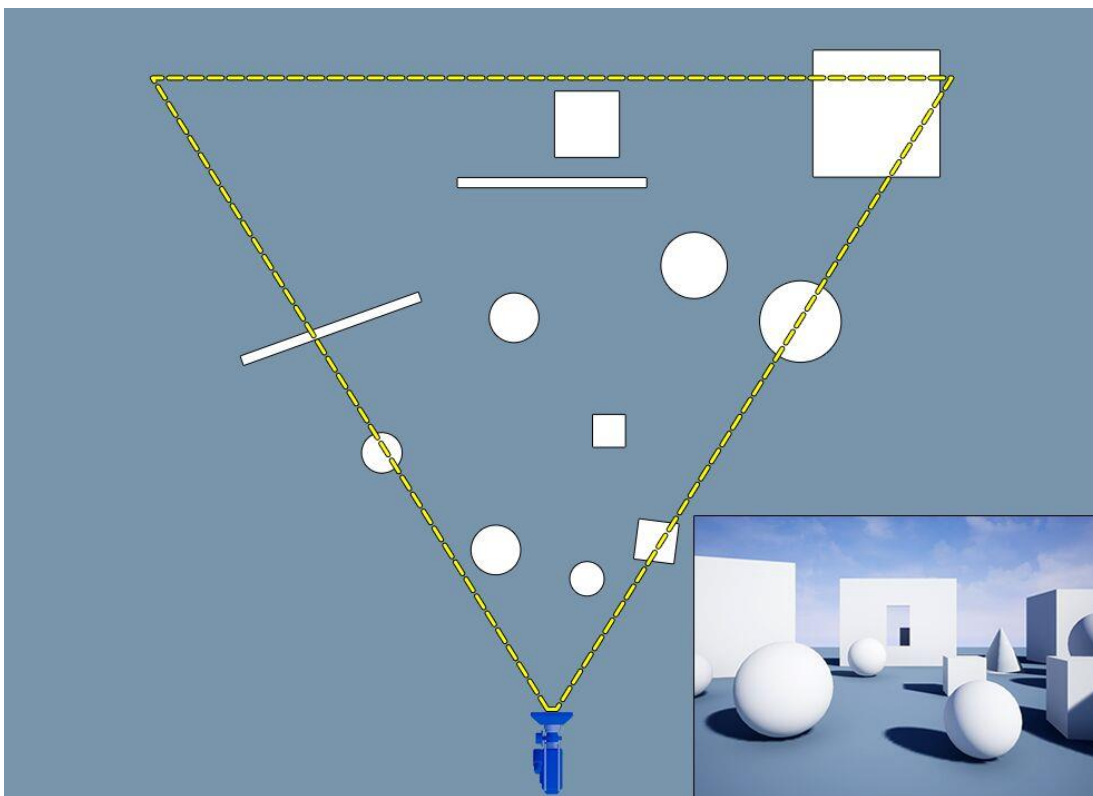
Kuva 17. Lähtötilanne ennen objektien renderöintiä



Kuva 18. Frustum Culling, kokonaan kamerakuvan ulkopuolella olevien objektien poisjättäminen renderöinnistä



Kuva 19. Occlusion Culling, eli objektien, jotka ovat kameran näköpiirissä mutta näkymättömissä, esimerkiksi toisten objektien takana, poisjättäminen renderöinnistä



Kuva 20. Jäljelle jäävät objektit, jotka renderöidään kuvaan

6.5 Level Streaming

Level Streaming on teknologia, jossa pelimaailman osia ladataan ja poistetaan muistista, sekä näiden osien näkyvyyttä vaihdetaan riippuen pelaajan sijainnista. Tämä mahdollistaa pelimaailman purkamisen pienemmiksi paloiksi ja vain merkitykselliset osat pelimaailmasta ovat kuluttumassa näytönohjaimen resursseja. Oikein käytettynä, Level Streaming mahdollistaa valtavien ja saumattomien pelimaailmojen luomisen mitä pelaaja voi tutkia ilman häiriöitä. (Unreal Engine, n.d.d.)

6.6 Dynamic Resolution Scaling

Dynamic Resolution Scaling (DRS), eli dynaaminen resoluution skaalaaminen, on tekniikka, jota käytetään tietokoneissa ja konsoleissa parantamaan pelin suorituskykyä. Se pohjautuu pelin resoluution väliaikaiseen madaltamiseen vaativammissa prosessointitilanteissa, vakaan kuvataajuuden ylläpitämiseen. Prosessi yleensä lähes täysin huomaamaton, kun sitä käytetään yhdessä muiden tekniikoiden kanssa, kuten tilapäisen reunojen pehmennyksen (temporal anti-aliasing) kanssa, joka tasoittaa mahdollisia matalamman resoluution aiheuttamia sahalaitaisuuksia objekteissa. Suurin etu DRS:n käyttämisessä on kyky jättää muut asetukset, kuten LOD tai varjojen tarkkuus ennalleen, muuttamalla vain ruudulle lähetettävää resoluutiota, joka venytetään ruudulle sopivan kokoiseksi. (Brookes, 2021).

7 PELAAMISEN TULEVAISUUS

Grafiikka on tietokonemaailman suhteen jo erittäin kehittynyt. Tietokoneella käytettävät resoluutiot ja kuvataajuudet ovat jo erittäin käytännölliset pelaamiseen, mutta valmistajat ovat edelleen etsimässä parannuksia näytönohjaimiinsa. Konsolit taas ovat erittäin usein kiinnitetty modernina päivänä älytelevisioihin, joissa on sisään rakennettuja ohjelmistoja, jotka tukevat heikompaa laitteistoa tuottamaan erittäin korkealaatua kuvaa, mutta itse konsolit ovat myös muuttumassa tehokkaammiksi jokaisessa uudessa sukupolvessa. Henkilökohtaisesti, pelien suurena kuluttajana, voisin väittää,

että grafiikan korkeus ja leveys, eli resoluutio ja kuvataajuus, on käytännön tarpeisiin saavutettu ja tulevaisuuden tehostetut resurssit voisivat keihastää eteenpäin pelaamisen syvyyttä, eli graafista laatua, oli se sitten pelimaailmassa olevien objektien määrä, yksityiskohdat tai niiden tekstuurien laatu.

7.1 Tekoäly näytönohjaimen työkaluna ja Ray Tracing

Nvidia on jo aiemmin käyttänyt tekoälyä näytönohjaimessa parantamassa grafiikan laatua, myös Ray Tracingin yhteydessä. Nvidian teknologia DLSS2 (Deep Learning Super Sampling) on tekoälyn tehostama videon renderöintitekнологia. Kuva ensin renderöidään 1080p resoluutiolla, jonka jälkeen ne skaalataan tekoälyn avulla, jopa 4k resoluutioon. Vaikka laatu ei välttämättä ole täysin sama kuin natiivi-4k resoluutiolla luotu kuva, se on erittäin samankaltainen, mutta mahdollistaa myös suuremman kuvataajuuden. (Harding, 2021.)

DLSS3, Nvidian uudempi versio teknologiasta ottaa uuden lähestymistavan tekoälyn tehostamalle grafiikan renderöinnille. Missä DLSS2 kanssa teknologia skaalasi kuvan suurempaan muotoon, DLSS3 käyttää tekoälyä täyttämään aukkoja ja tulkitsemaan mitä ruudulla pitäisi näkyä, kun kuvaa renderöidään reaaliaikaisesti. Tämä lisää suorituskykyä entisestään natiivina korkeilla resoluutioilla Nvidian uusimmilla näytönohjaimilla vanhempaan sukupolveen verrattuna. (McLoughlin, 2022)

AMD on myös työstämässä omaa versiotaan samankaltaisesta teknologiasta näytönohjaimilleen kuin Nvidian DLSS3, joka kulkee nimellä FSR3 (FidelityFX Super Resolution), mutta teknologiaa ei ole vielä julkaistu.

7.2 Matkalaitteet pelimaailmaan

Pelaaminen puhelimilla on ollut valtavassa nousussa, erityisesti Aasiassa. Mobiilipelimarkkinoiden tulot vuonna 2023 on arvioitu tavoittavan 174,8 miljardia dollaria,

josta Aasian osuus arvioidaan olevan 81,9 miljardia. Vuoden 2027 mobiilipelimarkkinoiden tuloiksi ennustetaan jopa 231,9 miljardia dollaria. Mobiilipelien oletetaan saavuttavan 1,37 miljardia käyttäjää vuoteen 2027 mennessä. (Statista, n.d.)

Puhelimet eivät kuitenkaan ole ainoa mobiilipelaamisen alusta. Nintendo Switch julkaistiin jo vuonna 2017, kuvassa 21, mikä loi uuden standardin konsolille, mikä toimii myös erillisenä käsikonsolina. Konsolin voi myös asettaa telakkaan, jonka kautta pelejä voi pelata normaalin konsolin tapaan esimerkiksi TV:llä. Vuonna 2022 Valve julkaisi myös oman käsitietokoneensa, nimeltä Steam Deck (kuva 22), joka on kykeneväinen suorittamaan tietokoneelle kehitettyjä pelejä käyttäjän omasta Steam-kirjastosta. Steam Deckin arvioitiin myyneen 1,6 miljoonaa laitetta vuonna 2022 ja sen arvioidaan saavuttavan 3 miljoonan laitteen myynnin vuoden 2023 loppuun mennessä (Dawe, 2023). Tämänkaltaisille mobiilikonsoli hybrideille on siis selkeästi myös markkinansa, ja sen voi olettaa kasvavan tulevaisuudessa.



Kuva 21. Nintendo Switch käsikonsoli asetettuna telakkaan, ja sen sivuihin liittyvät ohjaimet liitettynä ohjainrunkoon



Kuva 22. Valve yhtiön julkaisema Steam Deck -käsitietokone

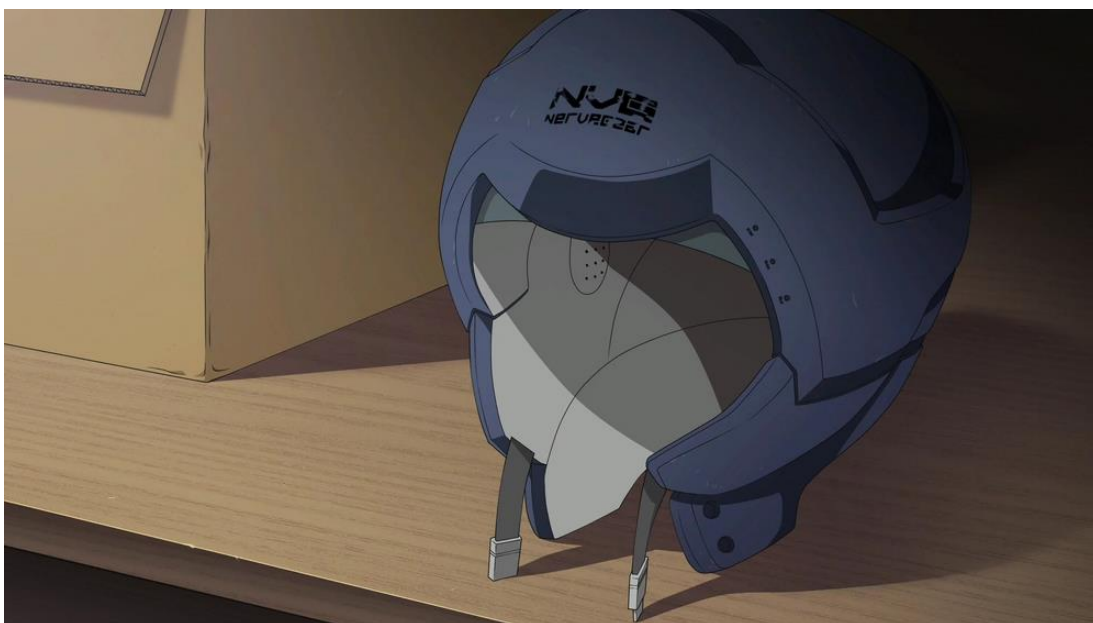
7.3 Virtuaalitodellisuuden nousu

Virtuaalitodellisuus on ollut jatkuvassa, vaikkakin hitaassa, nousussa pelaajien käytössä. Teknologian käyttöönoton suurimmat rajoitteet ovat olleet sen hintavuus, sekä laitteistolliset vaatimukset. Se on ollut enemmän pelimaailman kikka, kuin käytännöllinen peliteknologia. Teknologia on kuitenkin halpenemassa ja jopa perustason näyttöohjaimet ovat nykypäivänä kykeneväisiä pyörittämään VR-pelejä, luoden VR-pelien mahdollisen nousun lähitulevaisuudessa. VR-pelien luominen tulee kuitenkin vaatimaan uudenlaisen lähestymistavan vanhemmilta pelistudioilta, kun pelaaja tulee lähestymään aivan eri perspektiivistä kuin tietokoneen ruudun kanssa.

7.4 Sword Art Online, NerveGear ja FullDive teknologia

Sword Art Online on suosittu japanilainen animaatio-sarja, jonka tarina pohjautuu futuristiseen, sarjansa nimiseen virtuaalitodellisuuspeleihin. Pelin pelaajat käyttävät "NerveGear"-nimistä laitetta, kuvassa 23, joka on kykeneväinen sekä lukemaan aivojen toimintaa, että lähettämään signaaleja aivoille, luoden valheellisia viiden aistin, eli näön, hajun, kosketuksen, kuulon ja maun, tunteita käyttäjälle pelin aikana. Laitteen avulla

pelaaja voi kirjaimellisesti uppoutua pelin maailmaan. Laite on myös kykeneväinen estämään aivoja lähettämästä toimintoja ihmisen raajoille, estäen käyttäjää satuttamasta itseään pelin aikana. Äärimmäisillä asetuksillaan laite on jopa kykeneväinen estämään signaaleja todellisilta aisteilta, mahdollistan täydellisen uppoutumisen pelin maailmaan. Tämä teknologia tunnetaan sarjassa nimellä "FullDive". (SAO Fandom n.d.) Vaikka teknologia kuulostaa jokaisen pelaajan unelmalta, voisiko tällöinen teknologia tulla oikeasti todelliseksi tulevaisuudessa?

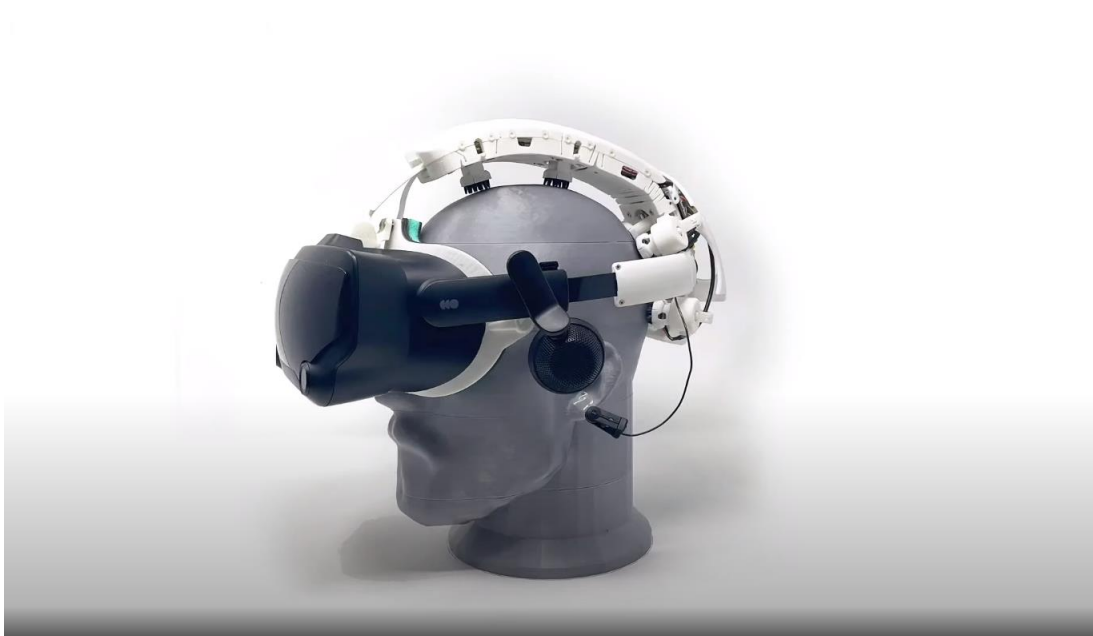


Kuva 23. NerveGear virtuaalitodellisuuslaite sarjasta Sword Art Online

7.5 Varjo ja OpenBCI

Varjo on yhtiö, joka tuottaa markkinoiden korkeatasoisimpia virtuaalilaseja ja OpenBCI on yhtiö, joka keskittyy avoimen lähdekoodin biosensointiin ja neurotieteeseen. Nämä yhtiöt toimivat yhdessä projektissa nimeltä Galea (kuva 24), jonka tarkoituksena on luoda virtuaalilasit, jonka näytössä on väitetyksi maksimaalinen resoluutio mitä ihmisen silmät ovat kykeneväisiä näkemään, joilla on kyky lukea aivojen signaaleja, sekä seurata käyttäjän silmien liikettä. Laitteessa siis yhdistyvät korkealaatuiset virtuaalitodellisuus lasit, kamerat, jotka seuraavat silmien liikkeitä ja elektroenkefalografia, eli laite, joka lukee aivojen sähköistä toimintaa. Tämä kokonaisuus luo uskomattoman tarkan ja monimuotoisen järjestelmän, jota voidaan hyödyntää käyttäjän syöttöjen lu-

kemiseen pelille, jopa pelkästään ajatuksen voimalla. Laite ei kuitenkaan ole kykeneväinen lähettämään signaaleja suoraan aivoille, eli tämä teknologia ei ole vastaava Sword Art Online -sarjan FullDive-teknologialle, mutta se on ensimmäinen askel kohti samankaltaista teknologiaa. Ensimmäinen erä virtuaalilaseja lähetetään tilaajille jo vuoden 2023 aikana, mutta tämän teknologian ollessa äärimmäisen kallista, ne todennäköisesti ovat menossa yhtiöille, jotka haluavat tutkia tämän teknologian käytettävyyttä, ei itse pelaajille. (VRelity, 2023.)



Kuva 24. Varjo ja OpenBCI yhtiöiden yhteistyönä luoma Galea-virtuaalilasien prototyyppi

7.6 Grafiikan tulevaisuus

Oli käytössä sitten kännykkä, konsoli tai tietokone, grafiikan rooli pelaamisessa tulee aina olemaan yksi tärkeimmistä. Se pysyy usein pelaajan ensimmäisenä kosketuksena peliin, ja sen täytyy myös pystyä pitämään pelin maailma uskottavana pelaajalle. Laitteiden kehittyessä myös grafiikan tulee kehittyä näyttämään entistä uskomattomamalta sekä uskottavalta saman aikaisesti, ja reaaliaikainen Ray Tracing pelaamisessa tulee olemaan yksi tehokkaimpia työkaluja tämän saavuttamisessa. Suurin kysymys kuitenkin on, koska pelit tulevat näyttämään todellisilta, ehkä jopa liian todellisilta? Tähän ei vielä ole vastausta.

8 LOPUKSI

Tämä opinnäytetyö oli avaava kokemus päästä tutkimaan, miten grafiikkaa käytetään tietokonepeleissä ja kuinka monimuotoisesti sitä tuotetaan riippuen pelin tahdotusta ulkoasusta.

Lisätystä todellisuudesta olisi mukava nähdä enemmän yrityksiä videopeleissä. Kyky olla vuorovaikutuksessa pelin esineiden tai hahmojen kanssa reaali maailman ympäristössä kuulostaa erittäin mielenkiintoiselta mahdollisuudelta peleille. Mobiililaitteiden jatkuva kehitys on myös luonut toimivan alustan pelin genrelle mitä olisi helppo hyödyntää.

Erityisesti jään odottamaan lisää uutisia Galea-virtuaalilaseista, sillä virtuaalitodellisuus peleissä on erittäin kiehtova aihe mitä haluan tutkia syvemmälle tulevaisuudessa. Tämän kaltaiset lasit voisivat suuresti edistää virtuaalitodellisuuden pelien kehittymistä, kunhan laitteiston hinta laskee prototyypivaiheesta. VR-laitteistot ovat vieläkin kalliita, mutta niiden hinta on kuitenkin pikkuhiljaa laskussa.

LÄHTEET

99design. (n.d.). Your visual guide to design styles. Haettu 27.5.2021 osoitteesta

<https://99designs.com/designer-resource-center/visual-design-styles>

Anhut, A. (2016). How to not suck at game design. Haettu 30.5.2021 osoitteesta

<http://howtonotsuckatgamedesign.com/2016/01/stylized-realism/>

Bonet, Ruben Torres. (18.6.2021). Level of Detail (LOD): Quick Tutorial. Haettu 28.5.2023 osoitteesta

<https://www.gamedeveloper.com/programming/level-of-detail-lod-quick-tutorial>

Brookes, Tim. (14.11.2021). What is Dynamic Resolution Scaling (DRS)? Haettu 28.5.2023 osoitteesta

<https://www.howtogeek.com/764408/what-is-dynamic-resolution-scaling-drs/>

Christensson, P. (2009). Graphics. Haettu 27.5.2021 osoitteesta

<https://techterms.com/definition/graphics>

Giant Bomb. (n.d.). Pixel Art. Haettu 30.5.2021 osoitteesta

<https://www.giantbomb.com/pixel-art/3015-7753/>

Giant Bomb. (17.1.2023). 2.5D. Haettu 21.5.2023 osoitteesta

<https://www.giantbomb.com/25d/3015-660/>

Gosnell, Jeremy. (1.2.2023). Why Games On PC Demand Better Hardware Than Console. Haettu 24.5.2023 osoitteesta

<https://www.dualshockers.com/gaming-on-pc-vs-console/>

Hanson, Matt. (20.9.2023). What is Augmented Reality? Haettu 27.5.2023 osoitteesta

<https://www.techradar.com/how-to/what-is-augmented-reality>

Harding, Scharon. (27.6.2021). What is Nvidia DLSS? A Basic Definition. Haettu 28.3.2023 osoitteesta

<https://www.tomshardware.com/reference/what-is-nvidia-dlss>

Jacob. (n.d.). What Are Sprites And How They Work In Games? Haettu 3.6.2021 osoitteesta

<https://remarkablecoder.com/sprites-in-games/>

Järvinen, A. (2002). Gran Stylissimo: The Audiovisual Elements and Styles in Computer and Video Games. Haettu 27.5.2021 osoitteesta

<http://www.digra.org/wp-content/uploads/digital-library/05164.35393.pdf>

Kevuru Games. (2023). 2D Games vs 3D Games: Key features, pricing and top genres. Haettu 21.5.2023 osoitteesta

<https://kevurugames.com/blog/differences-between-2d-games-vs-3d-games/>

McLoughlin, Aleksha. (22.9.2022). Nvidia DLSS 3 Explained: Everything you need to know. Haettu 28.3.2023 osoitteesta

<https://www.pcguides.com/gpu/nvidia-dlss-3-explained/>

Merriam-Webster. (n.d.). Realism. Haettu 30.5.2021 osoitteesta

<https://www.merriam-webster.com/dictionary/realism>

Phillips, Gavin. (15.3.2022) What Is a Graphics Card and How Does It Work? Haettu 28.5.2023 osoitteesta

<https://www.makeuseof.com/what-is-a-graphics-card-how-does-it-work/>

Polydin. (2023). 2D vs. 3D Games, What's the Difference? Haettu 21.5.2023 osoitteesta

<https://polydin.com/2d-vs-3d-games/>

SAO Fandom. (n.d.). NerveGear. Haettu 28.5.2023 osoitteesta

<https://swordartonline.fandom.com/wiki/NerveGear>

Scharr, J. (2013). The Tech Challenges to Photorealistic Games. Haettu 30.5.2021 osoitteesta

<https://www.tomsguide.com/us/photorealism-ten-years-why,review-1915.html>

Steam Hardware Survey. (n.d.). Tietokoneiden komponenttikartointus. Haettu 24.5.2023 osoitteesta

<https://store.steampowered.com/hwsurvey>

Tokarev, K. (2017). Realistic vs. Stylized: Technique Overview. Haettu 27.5.2021 osoitteesta

<https://80.lv/articles/realistic-vs-stylized-technique-overview/>

Unreal Engine. (n.d.a). Stylized Rendering Post Processing. Haettu 27.5.2021 osoitteesta

<https://docs.unrealengine.com/en-US/Resources/Showcases/Stylized/PostProcessing/index.html>

Unreal Engine. (n.d.b). Hierarchical Level of Detail Overview. Haettu 28.5.2023 osoitteesta

<https://docs.unrealengine.com/5.2/en-US/hierarchical-level-of-detail-overview-in-unreal-engine/>

Unreal Engine. (n.d.c). Visibility and Occlusion Culling. Haettu 28.5.2023 osoitteesta

<https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/RenderingAndGraphics/VisibilityCulling/>

Unreal Engine. (n.d.d). Level Streaming Overview. Haettu 27.5.2023 osoitteesta

<https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/BuildingWorlds/LevelStreaming/Overview/>

Virtual Reality Society. (n.d.). What is Virtual Reality. Haettu 27.5.2023 osoitteesta

<https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/what-is-virtual-reality.html>

VRelity. (29.10.2022). The Sword Art Online VR game is HERE! Full dive Nervegear in 2023 [video]. Youtube.

https://www.youtube.com/watch?v=rXO6qJ7_LUs

KUVALÄHTEET

Kuva 1. Microsoft Flight Simulator 2020. Kuvakaappaus videosta 2019. Haettu 3.3.2019 osoitteesta

<https://www.youtube.com/watch?v=ReDDgFfWIS4>

Kuva 2. Tetris 1984. Haettu 3.3.2020 osoitteesta

<https://en.wikipedia.org/wiki/Tetris#/media/File:Tetris-VeryFirstVersion.png>

Kuva 3. Geometry Dash 2014. Haettu 3.3.2020 osoitteesta

https://store.steampowered.com/app/322170/Geometry_Dash/

Kuva 4. Mega Man 2018 ja Legend of Zelda 2012. Kuvakaappaukset videoista. Haettu 3.3.2020 osoitteesta

<https://www.youtube.com/watch?v=xlFZxNJHwMU>

<https://www.youtube.com/watch?v=MBmRZG2TgRw>

Kuva 5. Terraria 2011 ja Papers Please 2013. Haettu 3.3.2020 osoitteesta

<https://store.steampowered.com/app/105600/Terraria/>

https://store.steampowered.com/app/239030/Papers_Please/

Kuva 6. World of Warcraft 2018. Haettu 3.3.2020 osoitteesta

<https://worldofwarcraft.com/en-us/news/22805739/show-your-pride-with-new-blood-elf-and-dwarf-heritage-armor>

Kuva 7. The Journey 2019 Haettu 3.3.2020 osoitteesta

<https://www.theverge.com/2019/8/6/20757373/journey-thatgamecompany-ios-release-surprise-price>

Kuva 8. Guilty Gear Xrd 2014. Haettu 4.3.2020 osoitteesta

<https://www.4gamer.net/games/216/G021678/20140703095/>

Kuva 9. The Tech Challenges to Photorealistic Games 2013. Haettu 4.3.2020 osoitteesta

<https://www.tomsguide.com/us/photorealism-ten-years-why,review-1915-2.html>

Kuva 10. Final Fantasy XV. Kuvakaappaus videosta 2013. Haettu 4.3.2020 osoitteesta

https://www.youtube.com/watch?v=f_UfJrMyKkQ

Kuva 11. Megaman X 1993. Haettu 21.5.2023 osoitteesta

<https://remarkablecoder.com/wp-content/uploads/2019/12/mega-man-sprite-sheet.jpg>

Kuva 12. Super Smash Bros. Ultimate, 2018. Haettu 21.5.2023 osoitteesta

<https://finance.yahoo.com/news/super-smash-bros-ultimate-nintendos-212800321.html>

Kuva 13 Duke Nukem 3D: 20th Anniversary World Tour. Haettu 21.5.2023 osoitteesta

https://store.steampowered.com/app/434050/Duke_Nukem_3D_20th_Anniversary_World_Tour/

Kuva 14 Pokemon GO. Haettu 27.5.2023 osoitteesta

<https://www.npr.org/sections/alltechconsidered/2016/06/30/483857216/in-pokemon-go-an-app-to-become-the-very-best>

Kuva 15 Minecraft kuva maailmasta. Haettu 28.5.2023 osoitteesta

https://minecraftbedrock-archive.fandom.com/wiki/Render_Distance

Kuva 16 Level of Detail quick tutorial. Haettu 28.5.2023 osoitteesta

<https://www.gamedeveloper.com/programming/level-of-detail-lod-quick-tutorial>

Kuvat 17, 18, 19 ja 20 Visibility and Occlusion Culling. Haettu 28.5.2023 osoitteesta

<https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/RenderingAndGraphics/VisibilityCulling/>

Kuva 21 Nintendo Switch käsikonsoli. Haettu 28.5.2023 osoitteesta

https://en.wikipedia.org/wiki/Nintendo_Switch

Kuva 22 Steam Deck käsitietokoneen kotisivulta. Haettu 28.5.2023 osoitteesta

<https://www.steamdeck.com/en/>

Kuva 23 NerveGear virtuaalitodellisuuslaite. Haettu 28.5.2023 osoitteesta

<https://swordartonline.fandom.com/wiki/NerveGear>

Kuva 24 Varjo ja OpenBCI yhdessä luomat virtuaalitodellisuuslasit Galea. Kuva-
kaappaus videosta 28.6.2022. Haettu 29.5.2023 osoitteesta

<https://www.youtube.com/watch?v=4P5JcA0tB9w>