

Jordglober i virtuell verklighet

Fredrik Sjöberg

42011-34-2017

Åbo Akademi

Fakulteten för naturvetenskaper och teknik

Kandidatavhandling i datateknik

Handledare: Ivan Porres

Mars 2021

Referat

I denna avhandling undersöks det hur jordglober kan visualiseras i virtuell verklighet. Jordklotet kan visualiseras digitalt med hjälp av virtuella jordglober. En virtuell jordglob är en digital tredimensionell representation av jordklotet.

Vid uppbyggnaden av virtuella jordglober behövs geografiska data i form av geospatiala data och GIS (geografiskt informationssystem). Geospatiala data är geografiska data som bestämmer positionen i en rymd. För att representationen av jordklotet ska bli så realistisk som möjlig, används satellitbilder och flygbilder. De största problemen vid uppbyggnaden av virtuella jordglober är hanteringen av den stora mängden data och omvandlingen av tvådimensionella bilder till en tredimensionell glob på en tvådimensionell skärm.

Jordglober kan visualiseras i virtuell verklighet med antingen en exocentrisk glob eller en egocentrisk glob. I en exocentrisk glob är användarens synvinkel utanför globen, medan användarens synvinkel i en egocentrisk glob är innanför globen. Det finns flera olika metoder för att navigera i virtuell verklighet, alla metoder styrs ändå av användaren med hjälp av ögon-, hand- eller andra kropps rörelser.

Det finns många olika typer av virtuella jordglober. Vissa är anpassade för forskning och utbildning, medan andra för visualisering och navigering. Ännu finns det inte så många virtuella jordglober som har en version i virtuell verklighet.

Nyckelord: virtuella jordglober, virtuell verklighet, geospatiala data, rendering

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
2. Virtuella jordglober	2
2.1. Data	2
2.2. Uppbyggnad	4
3. Virtuell verklighet och virtuella jordglober	7
3.1. Exocentriska glober	8
3.2. Egocentriska glober	8
3.3. Jämförelse av visualisering av glober i virtuell verklighet	9
3.4. Platta kartor i virtuell verklighet	10
3.5. Navigering i glober i virtuell verklighet	11
4. Exempel på virtuella jordglober	14
4.1. Typer av virtuella jordglober	14
4.2. Google Earth	15
4.3. NASA WorldWind	17
4.4. Esri ArcGIS Explorer	17
4.5. Microsoft Flight Simulator	17
4.6. Google Earth VR	18
5. Avslutning	20
Litteraturförteckning	21
Figurförteckning	23

1. Inledning

Under coronaviruspandemin har de flesta inte haft möjlighet att resa runt i världen, men tack vare virtuella jordglober kan man idag digitalt besöka de flesta platserna på jorden hemifrån soffan. Då man kombinerar virtuella jordglober med virtuell verklighet, får man en ännu bättre känsla av att man skulle vara på en helt annan plats. Tack vare den snabba utvecklingen inom virtuell verklighet är en komplett artificiell representation av världen inte längre en utopi.

Virtuella jordglober, digitala tredimensionella representationer av jordklotet, har de senaste åren blivit alltmer tillgängliga och lätta att använda. Detta ger nya möjligheter för att öka förståelsen och väcka intresse för vår planet med hjälp av teknologi. Virtuella jordglober kan numera inte användas endast för visualisering, utan också för forskning, navigering och undervisning. Speciellt forskning inom klimatförändringar och hur de påverkar vår planet, kan ha nytta av virtuella jordglober.

I denna avhandling undersöker jag hur jordglober kan visualiseras i virtuell verklighet. För att förstå processen för visualisering av jordklotet i virtuell verklighet behöver man först förstå uppbyggnaden av virtuella jordglober. I denna avhandling finns också en jämförelse av metoder för visualisering av glober i virtuell verklighet.

2. Virtuella jordglobber

En virtuell jordglob är en digital tredimensionell representation av jordklotet. Virtuella jordglobber visualiserar den riktiga världens terräng och andra geografiska data med hjälp av stora datamängder (dataset). Användaren ska ha möjlighet att röra sig på eller kring virtuella jordglobber med hjälp av funktioner som zoom, rotation och lutning. Till skillnad från en fysisk jordglob kan en virtuell jordglob visa olika vyer av jordens yta. Syftet med virtuella jordglobber kan vara navigering, visualisering eller forskning.

De största problemen vid uppbyggandet av en virtuell jordglob är den stora mängden data som behövs och omvandlingen av tvådimensionella bilder till en tredimensionell glob. För att användaren ska kunna få intrycket av en tredimensionell jordglob på en tvådimensionell skärm, behövs det lager av geografiska data, satellitbilder och flygbilder. De byggs på varandra för att representera det verkliga jordklotet. [1]

Datamängden för virtuella jordglobber kan alltså vara väldigt stor. Den mest kända virtuella jordgloben, Google Earth, uppskattades 2016 av Google Earth Blog vara drygt tre petabyte stor, men den är troligen mycket större [2]. Att ladda ner en så stor mängd data, för att kunna få en visualisering av hela jorden med högupplösta bilder, skulle ta flera år [1]. Det är varken möjligt eller effektivt för en vanlig användare att göra. För att överkomma detta problem använder man bland annat bildkomprimering och flertrådning (multithreading) [3].

I detta kapitel behandlas uppbyggnaden av virtuella jordglobber i detalj och hurdana data som behövs vid uppbyggnaden. Exempel på olika typer av virtuella jordglobber tas upp i kapitel 4.

2.1. Data

De två huvudtyperna av data som används i virtuella jordglobber är raster- och vektordata [2]. Rasterdata är data över terrängen i form av högupplösta bilder som till exempel satellit- och flygbilder. Vektordata är resten av informationen som syns på jordgloben. [4]

Vektordata i virtuella jordglober finns som polylinjer, polygoner och punkter [3,4]. Polylinjer är en sammanhängande linje som kan delas upp i mindre linjesegment [3]. I virtuella jordglober visas till exempel landsgränser, floder och vägar som polylinjer. Polygoner är olika areor som till exempel länder, glaciärer och sjöar. Punkter är i sin tur specifik information om en viss plats, som till exempel städer och berg. Oftast är vektordata kopplad till namn för att göra visualiseringen mera informativ [5].

Data i en virtuell jordglob består av geografiska data, oftast härstammande från ett geografiskt informationssystem (GIS). GIS är ett mjukvarusystem som lagrar geografiska data i lager, vilka kan användas i mjukvaruprogram [6]. Exempel på olika lager av geografiska data som ofta förekommer i virtuella jordglober är vägnät, topografi och demografi. En av de viktigaste typerna av data i en virtuell jordglob är geospaciala data, det vill säga geografiska data som fokuserar på geografisk position i en rymd [6]. GIS används för att kunna lagra, analysera, samla, manipulera och visualisera geospaciala data [4,5].

Alla grafikmotorer, programvaror som har hand om grafiken i stora program, använder koordinatsystem för att kunna bestämma djupet och positionen av ett objekt. Virtuella jordglober använder geografiska- och kartesiska koordinatsystem. Dessa två koordinatsystem kan konverteras till varandra. [3,7]

Geografiska koordinater i virtuella jordglober specificerar positionen på eller relativt till globen med hjälp av en tupel som innehåller longitud, latitud och höjd [3]. Longitud, också kallad längdgrad, är positionen på globen i öst-västlig riktning uttryckt som en vinkel i grader. Latitud, också kallad breddgrad, är positionen på globen i nord-sydlig riktning uttryckt som en vinkel i grader. Höjden är avståndet från jordytan.

Kartesiska koordinater är en tredimensionell representation av geografiska koordinater och de är mera anpassade för roterande glober och ellipsoider [3]. Kartesiska koordinater behövs för 3D-renderingen av virtuella jordglober. Det vanligaste kartesiska koordinatsystemet är WGS84 (World Geodetic System 1984), som används till exempel i GPS (Global Positioning System) [3,7]. WGS84 följer med jorden då den roterar och koordinaterna är alltså alltid i samma förhållande till

jorden. Många spel och mindre detaljerade applikationer använder sfärer som representation av jorden, men för att representera jorden med stor precision används WGS84 ellipsoiden [3].

2.2. Uppbyggnad

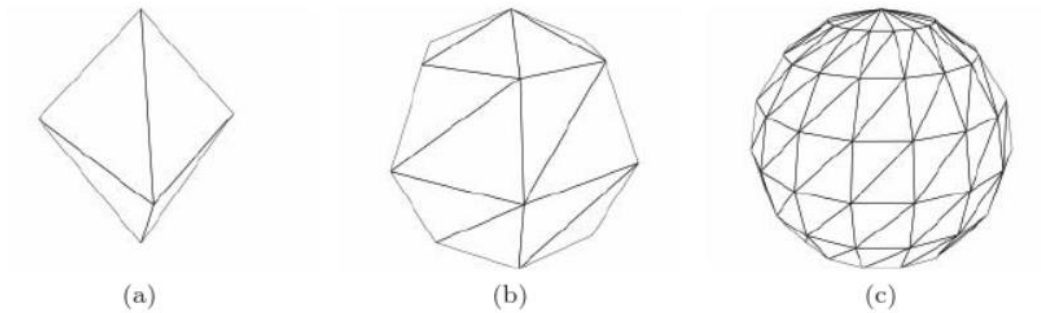
För att kunna framställa en virtuell jordglob på en dator behövs en grafikmotor, en programvara som har hand om grafiken i stora program. Datorgrafiken i en virtuell jordglob måste vara tredimensionell, och därför behövs också en tredimensionell grafikmotor. För att framställa tvådimensionella bilder av tredimensionella objekt, som fortfarande ska kunna uppfattas som tredimensionella, används tekniken rendering. Denna teknik är en viktig del av datorgrafiken och används för att bygga virtuella jordglober.

Eftersom grafikprocessorer (GPU, graphics processing unit) främst använder trianglar för renderingen, så måste globens yta projiceras på trianglar, som tillsammans formar globen, innan den kan renderas. Den vanligaste metoden är att använda så kallade tessellationsalgoritmer [3]. Tessellation betyder uppdelning av en yta i celler med ett mönster som täcker hela ytan utan att lämna några mellanrum mellan cellerna. När det gäller glober där man vill ha största möjliga precision används tessellationsalgoritmer som fungerar för ellipsoider [8].

Tessellationsalgoritmer anpassade för ellipsoider utgår från trianglar som tillsammans bildar en ellipsoid. Några exempel på tessellationsalgoritmer är en algoritm där en kub först delas upp i trianglar för att sedan projiceras till en sfär eller ellipsoid och en algoritm som delar upp trianglar inuti en enhetssfär [3]. Ett annat exempel är Voronoi tessellationen, som går ut på att dela upp ytan i celler där varje punkt i cellen är närmare dess center än ett närliggande center i en annan cell [8]. Den mest använda tessellationsalgoritmen, som är anpassad för ellipsoider, är dock en algoritm som använder geografiska rutnät. Först beräknas ett antal punkter i ett rutnät på ellipsoiden med hjälp av sfäriska koordinater, där latituden rör sig mellan 0 och π , och longituden mellan 0 och 2π [3]. Sedan konverteras punkternas koordinater till kartesiska koordinater enligt ekvationen i figur 1 [3,8]. Då punkterna är beräknade delas rutnätet in i trianglar mellan punkterna, vilket kan ses i figur 2. Den enda nackdelen med denna algoritm är att det blir en singulär punkt vid polerna [3].

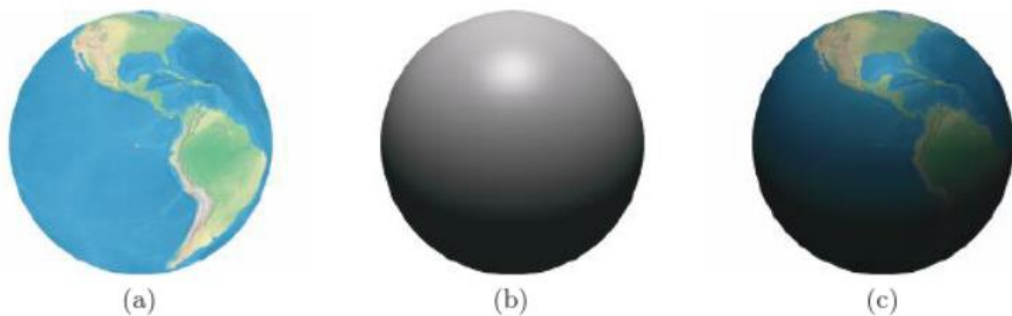
$$\begin{aligned}
 x &= a \cos \theta \sin \phi, \\
 y &= b \sin \theta \sin \phi, \\
 z &= c \cos \phi.
 \end{aligned}$$

Figur 1. Ekvation för konvertering av punkterna a, b och c, till de kartesiska koordinaterna x,y och z. Longitud visas som θ och latitud som ϕ . [3]



Figur 2. Tessellationsalgoritmen som använder geografiska rutnät. Vinklarna θ (longitud) och ϕ (latitud) minskar mer och mer från (a) till (c). Det uppstår då flera rader i rutnätet och det börjar likna en ellipsoid. [3]

Nästa steg efter tessellationen i renderingen av globen, är skuggning [3]. Skuggning är då man illustrerar djupet av ett tredimensionellt objekt med hjälp av att färglägga pixlarna med varierande mörker [9]. Utan skuggning ser man inte krökningen och formen av globen, se figur 3 [3,9]. Då renderingen har kommit så här långt saknas bara texturen, det vill säga själva bilden av jordytan [9]. Efter att texturen har projicerats på globen är renderingen färdig.



Figur 3. Skuggning av en virtuell jordglob. (a) Textur men inget ljus, man ser färger men inte formen av globen. (b) Ljus men ingen textur, man ser formen av globen men inga färger. (c) Både textur och ljus, man ser både färger och formen av globen. [3]

Under uppbyggnaden av virtuella jordglober kommer man att stöta på utmaningar gällande precisionen, krökningen, prestandan och en stor datamängd. Utmaningar med precisionen beror på storleken av jordklotet och zoomfunktionen i virtuella jordglober. I virtuella jordglober med en stor zoomskala, kan användaren från att nyss ha tittat på hela jordklotet, zooma in och befinna sig just över jordytan för att titta på detaljer av en gata. För att användaren ska kunna zooma in snabbt och mjukt på detta sätt i den virtuella jordgloben, behövs ett stort djup i synfältet och därför en stor datamängd av koordinater över världen.

På grund av jordklotets storlek finns det oändligt med möjliga punkter då man rör sig omkring i den virtuella rymden över jordgloben. Om man bygger upp en detaljerad virtuell jordglob endast utav några nivåer av renderade bilder eller enskilda punkter i rymden, kan det leda till precisionsfel. Det leder i sin tur till störningar i form av jitter och störningar i djupet [3]. Jitter syns i en dåligt uppbyggd virtuell jordglob då man zoomar in tillräckligt mycket eller roterar globen. Objekt kan flyttas över varandra och börja röra sig fram och tillbaka [3]. Det stör visualiseringen och kan göra det svårt att upptäcka var vektordata borde befinna sig på riktigt.

Några renderingsalgoritmer som kan lösa dessa precisionsfel är rendering relativt till center och rendering relativt till ögat [3]. Störningar i djupet är då man inte kan urskilja vilket objekt som är framför den andra. Den bästa lösningen för detta problem är att sätta gränsen för det närliggande planet (near plane) längre bort [3]. Det närliggande planet och planet i fjärran (far plane) används i 3D-grafik för att bestämma hur stor rymd som ska ses på skärmen. I virtuella jordglober är rymden ovanligt stor eftersom användaren ska kunna se objekt som är väldigt nära och långt borta i samma bild, och dessutom kunna göra det från alla riktningar och avstånd.

Eftersom den virtuella jordgloben ska kunna läsa in nya bilder snabbt då användaren byter synvinkel, så blir prestandan dålig om allt händer i samma tråd. För att kunna läsa in och processa data för rendering i olika trådar använder man därför flertrådning. [3]

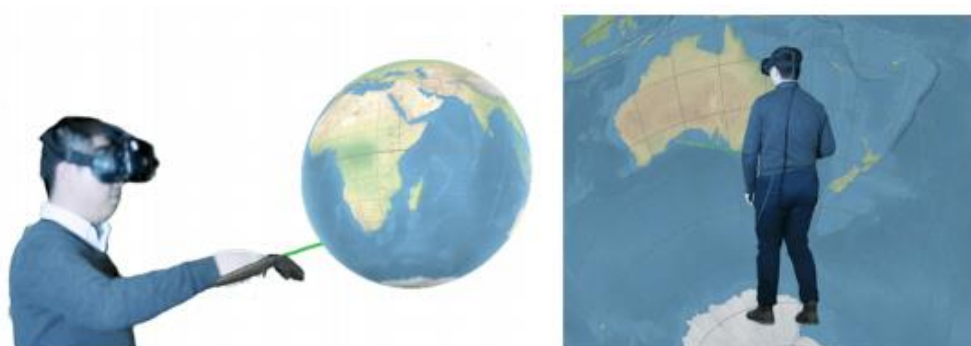
Krökningen av jorden utgör ett problem vid uppbyggandet av virtuella jordglober eftersom jorden inte är en perfekt sfär utan en oregelbunden ellipsoid. Om det är menat att den virtuella jordgloben ska visualisera jorden exakt så måste man

använda en ellipsoid i stället för en sfär för att representera den virtuella jordgloben. [8]

3. Virtuellt verklighet och virtuella jordglober

Virtuell verklighet (förkortat VR från engelskans ”virtual reality”) är en datateknik som gör det möjligt för en användare att närvara och agera i en virtuell miljö. Virtuellt verklighet kan simulera både verkliga och påhittade tredimensionella miljöer. Användaren utrustas med VR-glasögon (VR-headset), som visar miljön för användaren och följer med användarens huvud- och ögonrörelser. Då användaren flyttar blicken i en annan riktning, följer VR-miljön med och visar miljön i samma riktning. VR-glasögonen fungerar med hjälp av ögonspårare (eye tracking) som gör att renderingen för miljön, som inte befinner sig i användarens blickfång, kan minskas [10]. Oftast utrustas också användaren med handkontroller för att kunna navigera i den virtuella miljön [11].

Visualisering av glober tredimensionellt i virtuell verklighet kan göras på två olika sätt, antingen med exocentriska glober eller med egocentriska glober, se figur 4 [10]. I detta kapitel jämförs de två olika sätten, samt fördelar och nackdelar med att visualisera jorden tredimensionellt i stället för tvådimensionellt med kartor. Olika navigeringsmetoder i virtuell verklighet tas också upp. Ett exempel på en virtuell jordglob i virtuell verklighet, Google Earth VR, tas upp i kapitel 4.6.



Figur 4. Exocentrisk glob (vänster) och egocentrisk glob (höger) i virtuell verklighet. [10]

3.1. Exocentriska glober

En exocentrisk glob är en tredimensionell visualisering av en glob, där användarens synvinkel är utanför globen [10,12]. Den exocentriska globen är det kändaste och mest använda sättet för att visualisera glober digitalt, också i virtuell verklighet.

Det är naturligt att den exocentriska globen är den kändaste globen, eftersom den exocentriska globen visualiserar jordklotet likadant som den ser ut i verkligheten från rymden. En fördel med den exocentriska globen är alltså att den är bekant för alla användare och underlättar därför visualiseringen. Det förekommer inte heller någon förvrängning i mitten av exocentriska glober och därför kan areor och riktningar uppskattas korrekt av användaren [10].

Nackdelar med den exocentriska globen är storleken av globen som är synlig för användaren och perceptuell förvrängning av area och vinklar. Perceptuell förvrängning menas i detta avseende att användaren uppfattar förvrängningar av ytor på globen i virtuell verklighet fastän själva globen är en korrekt projicering av verkligheten [10]. Eftersom den exocentriska globen visualiserar jordklotet likadant som den skulle ses från rymden, alltså som en sfär, så kan naturligtvis endast hälften av globens yta synas för användaren på en och samma gång. Att bara den ena av globens halvor eller så kallade hemisfärer, syns på en gång, gör att användaren inte kan få en heltäckande bild av globens yta.

Perceptuell förvrängning av area och vinklar uppstår vid kanterna av den exocentriska globens synliga halva. Dessa perceptuella förvrängningar beror på jordens krökning och ett längre avstånd från användaren till kanterna på globen än avståndet till mitten på den synliga hemisfären. I en exocentrisk glob uppfattas alltså arean och vinkeln för en yta mer korrekt desto närmare ytan är till mitten av hemisfären. [10]

3.2. Egocentriska glober

En egocentrisk glob är en tredimensionell visualisering av en glob, där användarens synvinkel är innanför globen [10,12]. Med innanför globen menas att användaren tittar på globens yta från globens zenit, globens yta är alltså inverterad. Den egocentriska globen är ovanlig, men dess design gör att användaren får en mer uppslukande upplevelse i virtuell verklighet.

En annan fördel med den egocentriska globen, förutom en mer uppslukande upplevelse, är att det endast blir lite förvrängning vid användandet av den. I en egocentrisk glob blir varken ytor, avstånd eller former förvrängda eftersom det inte används någon kartprojektion [10]. Den perceptuella förvrängningen är också liten. Om användaren står i zenit av globen förekommer den knappt alls, men om användaren rör sig närmare en yta förvrängs den [10].

Nackdelar med den egocentriska globen är att arean av sfären som är klart synlig för användaren är liten, och att globen kan orsaka åksjuka i virtuell verklighet [10]. I en egocentrisk glob ser användaren lite mera än halva sfären på en och samma gång. Dock kan endast en relativt liten del av sfären ses tydligt, den del som användaren fokuserar blicken på. Resten av sfären kommer bara att ses i ögonvrån av användaren.

I en studie gjord år 2018 av Y. Yang et al. i Monash University, Australien [10], blev många personer åksjuka som testade en egocentrisk glob i virtuell verklighet. Detta kan förhindras genom att sätta statiska punkter på sfären. Punkterna borde då förbli på samma plats fast användaren roterar på globen.

3.3. Jämförelse av visualisering av glober i virtuell verklighet

Man kan jämföra de två olika typerna av visualisering av glober i virtuell verklighet genom att mäta skillnader i användares uppfattning av olika mått på globen och användarnas allmänna upplevelse.

I studien gjord år 2018 av Y. Yang et al. i Monash University, Australien [10], upplevdes den exocentriska globen som trevligare att använda enligt deltagarna i studien. Deltagarna presterade också bättre i uppskattandet av olika mått vid användandet av den exocentriska globen. Måtten som uppskattades var längd, area och riktning. Användarna uppskattade inte bara dessa mått bättre när de använde den exocentriska globen, utan deras betänketid var också snabbare än när de använde den egocentriska globen. [10]

I samma studie jämförde man också användarnas allmänna upplevelse. Den egocentriska globen orsakade åksjuka för många av deltagarna, medan den exocentriska globen orsakade endast lite åksjuka för ett fåtal deltagare. Den visuella

designen och tydligheten av globerna uppfattades som något bättre i den exocentriska globen. [10]

Den exocentriska globen är alltså ett bättre alternativ i virtuell verklighet då man vill göra beräkningar eller visualiseringar. Den är mer bekant för användare än den egocentriska globen, eftersom den ser ut som jorden i verkligheten och den förekommer i nästan alla tillgängliga program med virtuella jordglober. Den egocentriska globen är ovanlig och speciell, men dess fördel är en häftigare miljö. Deltagarna i den tidigare nämnda studien [10], ansåg att det var häftigt att kunna röra sig inne i världen och att det därför blir en mer uppslukande upplevelse. Dessutom är den perceptuella förvrängningen mindre i den egocentriska globen än i den exocentriska globen om användaren inte zoomar in på en punkt. Att den egocentriska globen orsakar åksjuka och att användaren måste röra på huvudet mycket för att kunna jämföra till exempel två areor på sfären, gör den ändå till ett sämre alternativ för användning i virtuell verklighet.

3.4. Platta kartor i virtuell verklighet

Vanliga tvådimensionella kartor fungerar också i virtuell verklighet. Fördelen med platta kartor är att man får en bättre helhetsbild över världen då det är möjligt att se hela världen på en gång, till skillnad från tredimensionella glober där man endast kan se ena hemisfären på en och samma gång.

Det blir alltid avbildningsfel då man gör en platt karta eftersom en krökt yta inte kan projiceras korrekt på en plan yta [13]. Vid användning av platta kartor måste man därför enligt målet med kartan välja vilka enheter man vill visa korrekt och vilka som kan bli förvrängda. Två enheter som aldrig samtidigt kan vara korrekt projicerade på en platt karta är area och riktningar [13]. Eftersom glober inte behöver avbilda en krökt yta på en platt karta så blir förvrängningen mindre än för platta kartor. I en exocentrisk glob blir det stor perceptuell förvrängning vid kanterna, men i mitten finns det ingen förvrängning alls [10]. Eftersom globen kan roteras så kan alltså alla punkter på globen visas korrekt. Platta kartor kan också projiceras korrekt på vissa punkter, men dessa punkter kan då inte ändras efterhand.

Man kan då fråga sig vad meningen är med att visualisera en tvådimensionell platt karta i virtuell verklighet, då mening med virtuell verklighet är att användaren ska få en tredimensionell verklighetstrogen upplevelse. Om huvudmålet med ett

program i virtuell verklighet är att visualisera jorden, är alltså det bästa alternativet att använda den exocentriska globen [10]. Ifall det behövs en visualisering över endast en liten del av jorden eller en karta i ett program i virtuell verklighet, fungerar dock en platt karta bra.

3.5. Navigering i glober i virtuell verklighet

Möjligheten till navigering i glober i virtuell verklighet är av stor betydelse för användarens allmänna upplevelse. Användaren ska inte bara kunna navigera i den virtuella miljön med hjälp av handkontroller och ändra vyn genom att vrida på huvudet, utan också kunna röra sig i miljön genom att fysiskt röra på sig i den verkliga världen, se figur 5. nedan.



Figur 5. En virtuell miljö där användaren både kan se på jordgloben från ett fågelperspektiv och gå fritt omkring på globens yta. [14]

Enligt W. Huang och J. Chen (2018) [14] är de fem vanligaste metoderna för navigering i virtuell verklighet teleportering, förinställd väg (path tracking), omdirigerad gång (redirected walking), hållningsbaserad navigering och styrning med handkontroller.

Teleportering går ut på att användaren kan flytta sig från en plats till en annan i den virtuella miljön på ett ögonblick [11]. Denna metod kräver snabb laddning av nya miljöer och är därför krävande för miljöer med mycket data som detaljerad information och högupplösta bilder [14]. Teleportering är ändå enkelt att implementera och används både i de flesta tvådimensionella virtuella jordgloberna och i de flesta globerna i virtuell verklighet [11,14]. Teleportering används då användaren vill förflytta sig utan att ”flyga” med manuell navigering. I stället söker

användaren efter den nya platsen eller trycker på platsen hen vill besöka och teleporteras dit direkt [15].

Metoden med förinställda vägar går ut på att användaren endast kan röra sig på globen längs förinställda vägar. Eftersom användaren inte kan lämna vägen ger denna metod liten flexibilitet. Denna metod passar inte för stora virtuella miljöer eftersom det krävs mycket jobb att begränsa användarens frihet att röra sig i världen. [14]

Omdirigerad gång ger däremot mera flexibilitet. Denna metod går ut på att användaren rör sig inom en cirkel i den verkliga världen, men kan röra sig i ett mycket större område i den virtuella miljön [14]. Det här är möjligt genom att den virtuella miljön vilseleder användaren att gå i en annan riktning än den virtuella riktningen med hjälp av rotation av miljön. Manipuleringen av den virtuella miljön märks inte av användaren. Denna metod är viktig för utvecklandet av större virtuella miljöer, utan omdirigerad gång begränsas rörelseförmågan för användaren av det verkliga utrymmet. [15]

Hållningsbaserad navigering är en metod för navigering inom virtuell verklighet där användarens rörelser bestämmer interaktionerna i den virtuella miljön. Då användaren ställer sig i en viss position och ställning kommer de motsvarande interaktionerna att hända i den virtuella miljön, till exempel röra sig framåt och bakåt i olika hastigheter. [14]

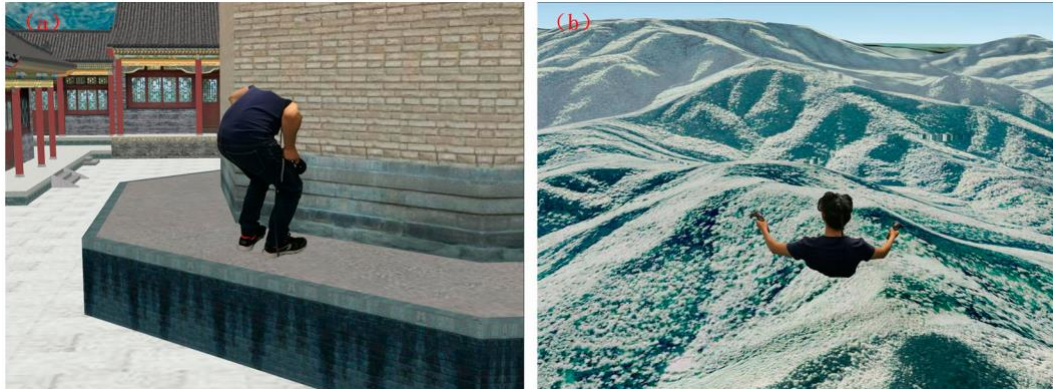
Styrning med handkontroller är en navigeringsmetod som är mycket populär i virtuell verklighet [11]. Med handkontrollerna kan användaren interagera i den virtuella miljön genom att till exempel rikta dom i en önskad riktning för att förflytta sig eller ta tag i sfären för att rotera den eller zooma. Styrning med handkontroller kan göras antingen med en hand eller båda [11]. Andra styrenheter som ofta används i virtuell verklighet är styrspakar, som till exempel en ratt.

Ingen av dessa metoder är perfekta metoder för navigering i virtuell verklighet. Vid användandet av teleportering är det krävande att ladda nya tredimensionella miljöer hela tiden, metoden med förinställda vägar begränsar användarens rörelsefrihet och omdirigerad gång kräver att alla möjliga vägar, som användaren ska kunna gå på i den virtuella miljön, är implementerade. Hållningsbaserad navigering och styrning med handkontroller kan inte jämföras med de andra metoderna eftersom de bara är

hjälpmedel för att interagera i virtuell verklighet [14]. I praktiken är det bäst att använda en blandning av alla dessa metoder för att göra navigeringen flexibel i glober i virtuell verklighet.

Den största skillnaden mellan glober i virtuell verklighet och tvådimensionella virtuella jordglober är navigeringen. I virtuell verklighet ska användaren ha möjlighet att navigera fritt på globen och till och med kunna röra sig i den till fots. I virtuella jordglober är användarens navigering mer begränsad eftersom synvidden och precisionen i miljön är kontrollerad med hjälp av visningsavståndet. Eftersom navigeringen i virtuell verklighet ger mera frihet, så uppstår det nya problem med grafiken och VR-synvinkeln. [14]

Problem med grafiken kan förekomma i glober i virtuell verklighet eller tredimensionella virtuella jordglober, i form av kollisioner in i terrängen på globen. Kollisionerna uppstår mellan VR-synvinkeln och den virtuella miljön [14]. Kollisionerna kan uppstå då användaren rör sig för nära terrängen eller byggnader på globens yta, eller då användaren rör sig inomhus i den virtuella miljön. Exempel på sådana kollisioner visas i figur 6 nedan.



Figur 6. Kollisioner i virtuell verklighet: (a) VR-synvinkeln går in i väggen eftersom väggen inte anses vara ett hinder för den, (b) VR-synvinkeln flyter in i berget eftersom avvikelserna i topografin inte är beräknade tillräckligt noggrant. [14]

För att förhindra kollisioner i den virtuella miljön så måste terrängen och tredimensionella objekt vara ogenomträngliga. Detta kan göras med hjälp algoritmer som känner av om en rörelse kommer att leda till en kollision, och i så fall förhindra rörelsen, eller att begränsa användarens möjlighet att röra sig nära objekt helt och hållet med hjälp av till exempel användning av förinställda vägar.

Oftast visualiseras virtuella jordglober från ett fågelperspektiv med en begränsad räckvidd på zoomen, vilket gör att det inte uppstår problem med grafiken. Tredimensionella virtuella jordglober med bra möjlighet till navigeringsfunktioner, som lutning och zoomning, kan däremot få likadana problem som glober i virtuell verklighet [14].

4. Exempel på virtuella jordglober

Virtuella jordglober skiljer sig åt på många sätt från varandra. Nedan tas några exempel på virtuella jordglober upp. Google Earth är en av de populäraste virtuella jordgloberna för visualisering av jorden för amatörer. Den applikation som närmast liknar Google Earth är Microsoft Bing Maps 3D. NASA WorldWind och Esri ArcGIS Explorer är mera till för professionellt bruk. Microsoft Flight Simulator är ett exempel på ett spel som använder sig av en virtuell jordglob i virtuell verklighet. Google Earth har också en version i virtuell verklighet.

4.1. Typer av virtuella jordglober

Majoriteten av de mest använda virtuella jordgloberna finns tillgängliga på internet, men det finns också sådana som måste installeras lokalt. Viktiga aspekter att ta i beaktande för att välja den mest passande virtuella jordgloben för ens ändamål, är hurdana data och möjlighet för dataanalys som finns tillgänglig i applikationen. [1]

Möjligheten till dataanalys kan variera stort mellan olika virtuella jordglober. I vissa program är det möjligt att implementera egna frågor och algoritmer, och importera egna data. Många virtuella jordglober innehåller sökmotorer och möjlighet till filtrering av data. Det finns ofta flera olika valbara lager av data som man kan sätta över varandra, inte bara olika typer av data utan också hur de visualiseras, till exempel kan många virtuella jordglober visas som natttid.

Användarvänligheten har också en stor betydelse för hur den virtuella jordgloben kan användas. Om navigeringskontroller, så som zoom, rotation och lutning, är knepiga att använda eller helt och hållet saknas, kan det vara svårt att göra en visualisering. Fastän det skulle finnas bra zoom i programmet, så spelar också upplösningen på bilderna en stor roll för möjligheten till forskning och

visualisering. Då navigeringskontrollerna fungerar väl och nätsidan eller programvaran inte hakar upp sig, ska det kännas som att man flyger mjukt kring den virtuella jordgloben då man förflyttar synvinkeln.

4.2. Google Earth

Google Earth är den första kända virtuella jordgloben. Den finns tillgänglig gratis för allmänheten på internet. Den utvecklades först av företaget Keyhole, som Google köpte år 2004, och släpptes första gången för allmänheten år 2005 [16]. I Google Earth kan användaren flyga runt jordgloben och zooma in på både terräng och geografiska data. Topografin och byggnader i vissa städer är tredimensionella. Nedan i figur 7 visas ett GUI (graphical user interface) i Google Earth.



Figur 7. Skärmbild av den virtuella jordgloben Google Earth.

Google Earth har funktioner som 3D, Street View, Flight Simulator och Google Earth VR, som behandlas mera i kapitel 4.6. Google Earth och karttjänsten Google Maps är nära besläktade. Google Maps är också en virtuell jordglob gjord för visualisering, men den saknar samma möjlighet till en tredimensionell vy som Google Earth. Google Maps är en kartbildstjänst som är till för navigering, medan Google Earth mera är lämpat för forskning. Både Google Earth och Google Maps finns också tillgängliga som mobilapplikationer.

Google Earth använder sig mestadels av satellitbilder, men också flyg-, 3D- och 360° bilder, för att projicera en verklighetstrogen bild av världen i den virtuella jordgloben. Bilderna är inte i realtid, utan oftast mellan ett och tre år gamla. Google Earth är uppbyggd som en mosaik av bilder, där bilder tagna under olika tidsperioder är sammankopplade med varandra med hjälp av överlagring. [17]

Google Earth är väldigt detaljerad och täcker nästan hela världen med högupplösta bilder, vilket kräver väldiga mängder data. För att minska på mängden data som behöver överföras på internet, använder Google en metod som de själva kallar för "Super-Overlay structure". Den går ut på att dela upp uppsättningar av bilder i form av celler (tilesets) utgående från detaljnivå. Den hierarkiska strukturen fungerar som en kapslad trädstruktur, där varje barnnod är placerad inuti sin föräldernod. Noderna i denna struktur representeras av kataloger, som innehåller uppsättningarna av bilder för dess respektive detaljnivå. [18]

Denna struktur märks i praktiken då man zoomar i Google Earth. Varje gång man zoomar in spjälks cellerna upp i flera mindre celler, som har högre upplösning än de föregående cellerna. För att få den virtuella jordglobens yta att se rund ut, bildar cellerna en polygon. Därför kan Google Earth ses som en sfärisk mosaik. [16]

För varje uppsättning av bilder finns det en KML fil [17]. KML är en förkortning av Keyhole Markup Language. KML utvecklades från början för Google Earth av Keyhole, men används numera också i andra applikationer som till exempel NASA WorldWind och ESRI ArcGIS Explorer [19]. KML är numera en internationell standard i OGC (Open Geospatial Consortium) [20].

KML är ett märkspråk baserat på XML (Extensible Markup Language) [19]. Ett märkspråk är ett språk för dokument som består av textkoder (taggar och element) och som kan läsas både av människor och datorer. XML används för att lagra och transportera data mellan olika informationssystem. KML används speciellt för geografiska data, som kan användas som koordinater på en tvådimensionell karta eller i en tredimensionell virtuell jordglob [20].

Google Earth har blivit populär eftersom den är användarvänlig och innehåller många funktioner som kan tillämpas i forskning och visualisering. Google Earth

Engine är ett verktyg där man kan analysera data från Google Earth. Där finns tillgängligt dataset som innehåller över 20 petabyte geospatiala data, både historiska och nutida [21].

4.3. NASA WorldWind

NASA WorldWind är en virtuell jordglob utvecklad av NASA och som har öppen källkod. WorldWind är inte en applikation som Google Earth, utan en SDK (Software Development Kit). Det är alltså en bra plattform för forskning och för att bygga egna geospatiala applikationer med geografiska data. Data finns fritt tillgängligt på NASA WorldWind GitHub. Eftersom NASA bedriver rymdforskning och själva har sänt upp satelliter, så härstammar mycket av deras satellitdata från deras egna satelliter. WorldWind har en renderingsmotor, en datormotor som formaterar om märkspråk och visar det på datorskärmen, med vilken det kan göras många olika typer av projekt, till och med flygsimulatorer. [22]

4.4. Esri ArcGIS Explorer

Esri ArcGIS Explorer är en virtuell jordglob utvecklad av företaget Esri (Environmental Systems Research Institute). ArcGIS är en GIS-programvara som är till för analys, lagring, manipulering och visualisering av data. ArcGIS består av flera produkter som finns tillgängliga i olika nivåer beroende på användningsområdet, ArcGIS Explorer är till exempel till för att visualisera data på en tredimensionell jordglob. ArcGIS har också verktyg där man kan bygga egna projekt med SDK och passar därför för professionellt bruk. [23]

4.5. Microsoft Flight Simulator

Microsoft Flight Simulator är en flygsimulator som är Microsofts äldsta mjukvaru-franchise. Microsoft Flight Simulator släpptes första gången 1982, tre år före Windows, och den senaste versionen släpptes 2020 med hjälp av spelföretaget Asobo Studio [24]. Flygsimulatorn täcker hela världen och är således en virtuell jordglob. Microsoft Flight Simulator använder sig av en WGS84 ellipsoid [3].

Den senaste versionen av Microsoft Flight Simulator har blivit känd för sin häpnadsväckande verklighetstroga grafik. Flygsimulatorn använder sig av

satellitbilder från Microsoft Bing Maps och använder sig av 3D-fotogrammetri, vilket är en teknik för att göra tredimensionella objekt av tvådimensionella bilder [18]. För att göra spelet ännu mera verklighetstroget så är vädret i spelet det samma som i verkligheten [18]. Sedan december 2020 går det att spela Microsoft Flight Simulator i virtuell verklighet [25].

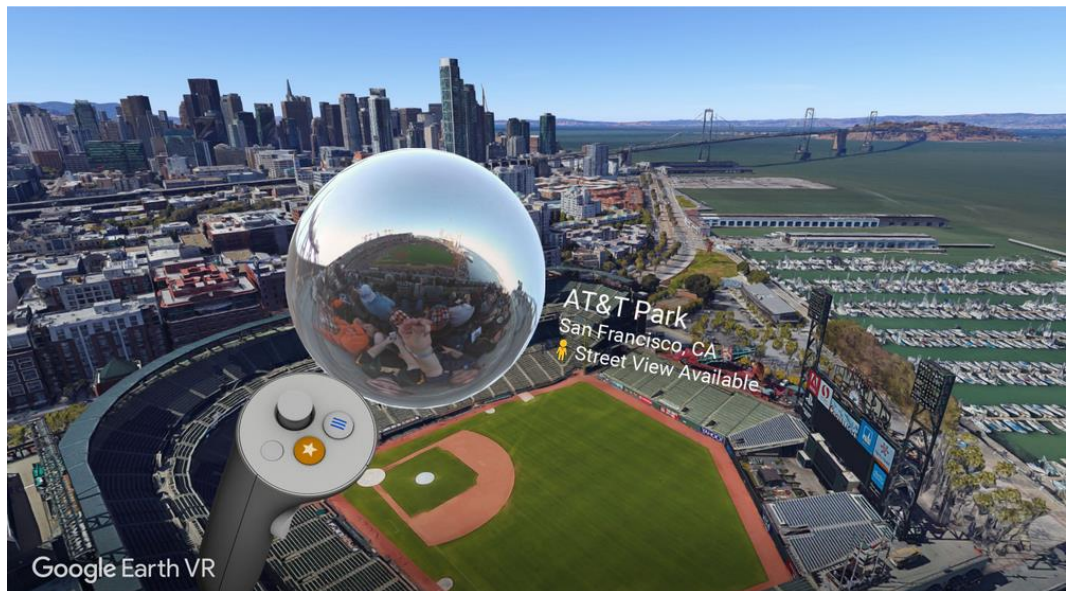
Flygsimulatorer är enklare att bygga än vanliga virtuella jordglober eftersom man vet hastigheten en användare rör sig i en flygsimulator. I vanliga virtuella jordglober kan användaren till exempel utan förvarning plötsligt zooma in åt ett nytt håll med annan hastighet. Då man vet hastigheten som synvinkeln ska ändras är det enklare att förebygga uppkomsten av jitter och enklare att veta vilken rymd som ska läsas in till näst. [3]

4.6. Google Earth VR

Google Earth VR är ett program för visualisering av jorden i virtuell verklighet. Programmet är motsvarigheten av Google Earth i virtuell verklighet (se kapitel 4.2). Google Earth VR lanserades i november 2016 och ett år senare lades funktionen Street View till. Programmet finns numera tillgänglig på VR-glasögonen HTC Vive och Oculus Rift [26]. Google Earth VR använder sig av en exocentrisk glob.

Av de tidigare nämnda navigeringsmetoderna använder Google Earth VR teleportering, förinställd väg och styrning med hjälp av handkontroller. Däremot används varken omdirigerad gång eller hållningsbaserad navigering. Användaren interagerar endast med hjälp av handkontroller och VR-glasögon i Google Earth VR. Användaren kan alltså inte interagera i den virtuella miljön genom att röra på sig i den verkliga världen eller ställa sig i olika positioner, utan endast med hjälp av huvud- och handrörelser. Dessa funktioner ger ändå en tillräckligt uppslukande känsla eftersom rörelserna som används är naturliga för användaren.

I Google Earth VR kan användaren, liksom i den vanliga versionen Google Earth, flyga runt jordgloben och zooma in på både terräng och geografiska data. Funktionen Street View gör det möjligt för användaren att röra sig på gatunivå på jordytan längs med förinställda vägar, besöka VR-fotografier eller 360° bilder uppladdade av andra användare eller gå en virtuell rundtur. Användaren kan lätt byta till läget Street View och tillbaka, vilket kan ses i figur 8.



Figur 8. Användaren i Google Earth VR får en förvisning på hur vyn ser ut ifall man byter till Street View.

Google Earth VR är ett användarvänligt program där snabba kommandon inte orsakar störningar, till exempel teleporteringen då en ny plats ska besökas fungerar lika bra som den vanliga versionen av Google Earth. Den virtuella upplevelsen störs inte heller av störningar i grafiken. Kollisioner mellan VR-synvinkeln och terrängen eller byggnader i den virtuella miljön förekom just efter lanseringen av programmet [14], men dessa förekommer inte längre. Numera kan man inte zooma in eller ”gå” för nära terrängen eller byggnader i varken Google Earth VR eller Google Earth, utan man styrs då förbi hindret eller tvingas förflytta sig åt ett annat håll.

5. Avslutning

Virtuella jordglober har under de senaste åren blivit alltmer förekommande och tillgängliga för en allt större mängd människor. Numera är de virtuella jordgloberna väldigt exakta och täcker nästan hela världen, fastän inte med hög upplösning överallt. Virtuella jordglober hjälper oss att förstå världen och hur vår aktivitet påverkar den.

Virtuella jordglober, så som Google Earth, NASA WorldWind och Esri ArcGIS Explorer, gör det möjligt att bedriva forskning om fenomen på vår planet över landsgränserna. Programmets satellitbilder och andra geografiska data gör det möjligt att forska i till exempel klimatförändringen, människornas och djurens rörelser, och epidemiologi. Virtuella jordglober ger också nya möjligheter för planering av till exempel städer, vägnät och rutter.

Visualisering av jordglober i virtuell verklighet ger en mer uppslukande upplevelse än vanliga virtuella jordglober. Bästa sättet att visualisera jordglober i virtuell verklighet är att använda en exocentrisk glob. Det finns ingen perfekt navigeringsmetod för jordglober i virtuell verklighet, och därför lönar det sig att använda en blandning av flera olika metoder. I framtiden kommer nya och mera utvecklade navigeringsmetoder i virtuell verklighet att ta över, som till exempel 360° löpband och möjlighet att använda endast sina händer som styrenheter utan hjälp av handkontroller.

Fastän utvecklingen av jordglober i virtuell verklighet inte ännu har kommit så långt, så kan man redan utnyttja tekniken för till exempel undervisning och virtuella rundturer. En komplett artificiell representation av världen är långt borta, men med jordglober i virtuell verklighet kan man redan nu få virtuella reseupplevelser som ersätter ens en liten del av verkligt resande, vilket kan vara lockande under perioder då resande utomlands inte är möjligt.

Litteraturförteckning

- [1] Center for Spatial Studies, University of California, Santa Barbara – “Virtual Globes”.
<http://spatial.ucsb.edu/virtual-globes/>
Hämtad 8.2.2021
- [2] Google Earth Blog – “How big is the Google Earth database?” (2016).
<https://www.earthblog.com/blog/archives/2016/04/big-google-earth-database.html>
Hämtad 15.2.2021
- [3] Patrick Cozzi, Kevin Ring. 3D Engine Design for Virtual Globes. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011.
- [4] OmniSci, Inc. - “Geospatial – A complete introduction”.
<https://www.omnisci.com/learn/geospatial>
Hämtad 20.3.2021
- [5] S. Al-Yadumi et al. Review on Integrating Geospatial Big Datasets and Open Research Issues. IEEE Access (Volume: 9), pages 10604-10620. 12.1.2021.
- [6] GeoSearch, Inc. - “GIS vs. Geospatial”.
<https://www.geosearch.com/employer-blog/gis-vs-geospatial>
Hämtad 18.2.2021
- [7] Stelios Th. Kouzeleas. Conversion of GPS data to cartesian coordinates via an application development adapted to a CAD modelling system. 2nd International Conference on Experiments/Process/System Modelling/Simulation & Optimization, 2007.
- [8] Christos Kastrisios, Lysandros Tsoulos. Voronoi tessellation on the ellipsoidal earth for vector data. International Journal of Geographical Information Science, Volume 32, 2018 – Issue 8.
- [9] D. Perevalov & I. Tatarnikov. openFrameworks Essentials. Packt Publishing, 2015.
- [10] Y. Yang et al. Maps and Globes in Virtual Reality. Eurographics Conference on Visualization (EuroVis) 2018. Volume 37 (2018), No 3.
- [11] A. Drogemuller et al. Examining virtual reality navigation techniques for 3D network visualisations. Journal of Computer Languages, volume 56, February 2020.
- [12] Joakim Fransson. Effekten av olika presentationssätts inverkan på tredimensionella avståndsbedömningar i ett tvådimensionellt gränssnitt. Institutionen för datavetenskap, Högskolan Skövde. 2001.
- [13] Geokov – “Map Projections – types and distortion patterns” (2014).
<http://geokov.com/education/map-projection.aspx>
Hämtad 20.3.2021
- [14] Wumeng Huang, Jing Chen. “A multi-scale VR navigation method for VR globes”. International Journal of Digital Earth, 1.2.2019, Vol.12 (2), p.228-249.

- [15] Eike Langbehn, Paul Lubos, Frank Steinicke. Evaluation of Locomotion Techniques for Room-Scale VR: Joystick, Teleportation, and Redirected Walking. ACM Virtual Reality International Conference, 2018.
- [16] Nature, Declan Butler - "How does Google Earth work?" (2006). <https://www.nature.com/news/2006/060213/full/060213-7.html>
Hämtad 15.2.2021
- [17] Google Earth - "How images are collected" (2021). <https://support.google.com/earth/answer/6327779>
Hämtad 15.2.2021
- [18] MicroImages, Inc. – "Google Earth Structure" (2012). <https://www.microimages.com/documentation/TechGuides/78googleEarthStruc.pdf>
Hämtad 23.2.2021
- [19] Google, Keyhole Markup Language – "KML Documentation Introduction". <https://developers.google.com/kml/documentation>
Hämtad 14.3.2021
- [20] Google, Keyhole Markup Language – "What is KML?". <https://developers.google.com/kml>
Hämtad 14.3.2021
- [21] Google Earth Engine – "A planetary-scale platform for Earth science data & analysis". <https://earthengine.google.com/>
Hämtad 27.3.2021
- [22] NASA WorldWind – "NASA WorldWind". <https://worldwind.arc.nasa.gov/>
Hämtad 28.3.2021
- [23] Esri – "ArcGIS". <https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview>
Hämtad 28.3.2021
- [24] J. Conditt – "All I want to do is chill and play 'Flight Simulator'" (2019). <https://www.engadget.com/2019-09-30-flight-simulator-2020-hands-on-pre-alpha.html>
Hämtad 28.3.2021
- [25] Microsoft Xbox, Jorg Neumann – "Microsoft Flight Simulator Virtual Reality Update Available Now" (2020) <https://news.xbox.com/en-us/2020/12/22/microsoft-flight-simulator-virtual-reality-update-available-now/>
Hämtad 29.3.2021
- [26] Google – "Google Earth VR – Bringing the whole wide world to virtual reality". <https://blog.google/products/google-ar-vr/google-earth-vr-bringing-whole-wide-world-virtual-reality/>
Hämtad 23.3.2021

Figurförteckning

- Figur 1. [3] Patrick Cozzi, Kevin Ring. 3D Engine Design for Virtual Globes. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011. Page 130. Equation (4.4.)
- Figur 2. [3] Patrick Cozzi, Kevin Ring. 3D Engine Design for Virtual Globes. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011. Page 131. Figure 4.6.
- Figur 3. [3] Patrick Cozzi, Kevin Ring. 3D Engine Design for Virtual Globes. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011. Page 140. Figure 4.11.
- Figur 4. [19] Y. Yang et al. Maps and Globes in Virtual Reality. Eurographics Conference on Visualization (EuroVis) 2018. Volume 37 (2018), No 3. Figure 1.
- Figur 5. [23] Wumeng Huang, Jing Chen. “A multi-scale VR navigation method for VR globes”. International Journal of Digital Earth, 1.2.2019, Vol.12 (2), p.228-249. Figure 3.
- Figur 6. [23] Wumeng Huang, Jing Chen. “A multi-scale VR navigation method for VR globes”. International Journal of Digital Earth, 1.2.2019, Vol.12 (2), p.228-249. Figure 4.
- Figur 7. Skärmbild tagen från Google Earth.
<https://earth.google.com/web/@54.11385661,18.68470418,4032.43378384a,9700032.33287215d,35y,-3.78547112h,23.13950385t,0r>
Hämtad 14.3.2021
- Figur 8. Google - “Get a closer look with Street View in Google Earth VR”, 2017.
<https://blog.google/products/google-ar-vr/get-closer-look-street-view-google-earth-vr/>
Hämtad 23.3.2021