

NORMAL MAP -TEKNIIKAN KÄYTTÖ 3D-MALLINNUKSESSA

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Mediatekniikan koulutusohjelma
Teknisen visualisoinnin suuntautumisvaihtoehto
Opinnäytetyö
14.5.2007
Leevi Huhtamaa

HUHTAMAA, LEEVI: Normal map -tekniikan käyttö 3D-mallinnuksessa

Teknisen visualisoinnin opinnäytetyö, 35 sivua

Kevät 2007

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä selvitetään, miten virtuaalisen mallin geometriaa voidaan yksinkertaistaa ilman huomattavaa visuaalista muutosta normal map -tekniikan avulla. Kyseinen tekniikka mahdollistaa monimutkaisten, paljon yksityiskohtia sisältävien mallien reaaliaikaisen tarkastelun. Tätä ominaisuutta tarvitaan muun muassa visuaalista realistisuutta tavoittelevissa 3D-pelimootoreissa.

Työn tarkoituksena on tutkia, miten normal map -tekniikalla voidaan yksinkertaistettulle mallille laskea pinnan varjostuksia lataamalla geometriset yksityiskohdat kaksiulotteisesta tekstuurista. Opinnäytetyössä selvennetään, miten polygonin pinnan normaalivektoreita käytetään varjostusten laskemiseen ja miten tätä tietoa manipuloimalla voidaan luoda näennäisiä pinnanmuotoja.

Keskeisimpinä osa-alueina työssä on ymmärtää, miten pinnan normaali vaikuttaa valaistuksen laskentaan, mitä ominaisuuksia normal map -tekstuurilla on ja mitä eri tulkintoja käyttäen normal map -tekstuurilla voidaan luoda. Normal map -tekstuurilla luodaan joko jo olemassa olevasta bump map -tekstuurista tai geometrisesta mallista. Tekstuuria luodessa käyttäjän tulee kuitenkin olla selvillä eri tulkintojen ja tekniikoiden peruseroista, jolloin saadaan visuaalisesti optimaalinen lopputulos.

Informaatio teorian kirjoittamista varten kerätään ohjelmien manuaaleista sekä internetistä löytyvistä tutkielmista. Käsiteltävästä normal map -tekniikasta löytyy standardisoinnin puutteen vuoksi useita sovelluksia, joten teoria on pyritty käsittelemään yleisellä tasolla, johon eri tekniikan tulkinnat pohjautuvat.

Työssä toteutetaan myös kahden ohjelman yhteiskäytöllä reaaliaikaiseen tarkasteluun soveltuva malli, jonka visuaalinen ilme on pidetty mahdollisimman yksityiskohtaisena.

Avainsanat: bump map, normal map, polygoni, teksturi

Lahti University of Applied Sciences
Faculty of Technology

HUHTAMAA, LEEVI: Normal Mapping in 3D Modelling

Bachelor's Thesis in Visualisation Engineering, 35 pages

Spring 2007

ABSTRACT

This Bachelor's thesis examines how a complex 3D model can be simplified without noticeable visual quality loss. Normal mapping makes it possible to render detailed, realistic looking models in real time. This technique is common in modern game engines.

Normal mapping loads geometrical details from a 2D texture to calculate lighting for a simplified model. This thesis describes how information of a surface normal affects a polygon's lighting and how apparent topology can be altered by perturbing these normal vectors.

Central points of the study were to get an insight into how surface normal affects the intensity of surface lighting, what different techniques there are to create normal map texture and what properties normal map texture includes. Normal map texture can be converted from an existing bump map texture or it can be calculated from a high-resolution model. In normal mapping the modeller must know the basics of different creating methods to achieve optimal results.

The information for this thesis was collected from software manuals and articles found in internet. Due to the lack of standards, normal mapping has many variations. Therefore this thesis deals with normal mapping on a general level.

In the empirical part a suitable model for real-time rendering was made by using two programs. The number of visual details were kept as high as possible to experience the efficiency of normal mapping.

Keywords: bump mapping, normal mapping, polygon, texture

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	NORMAL MAP	2
2.1	Normal map -tekniikan määrittely.....	2
2.2	Menetelmän käyttökohteet	3
2.3	Menetelmän edut ja ongelmakohdat	5
3	NORMAL MAP -TEKNIIKAN RAKENNE	7
3.1	Pinnan normaalin vaikutus valaistukseen	7
3.2	Pinnan normaalin häirintä	8
3.3	Pinnan normaalit specular- ja reflective-valaistuksilla	9
3.4	Normal map -tekstuurin koko	9
3.5	Normal map -tekstuuri	10
3.6	Tangent ja object space	11
3.6.1	Object space map -tekniikan soveltuvuus	
3.6.2	Tangent space map -tekniikan soveltuvuus	
3.6.3	Tangent ja object space map -tekstuurien tunnistaminen	
4	NORMAL MAP -TEKSTUURIN LUONTI	17
4.1	Normal map -tekstuurin laskeminen.....	17
4.2	Polygonien vähentämisen vaikutus UV-koordinaatteihin	17
4.3	Bump map -tekstuurin muunto normal map -tekstuuriksi	18
4.4	Raytracing/raycasting-tekniikka	20
4.5	Normal map -tekniikan käyttö varjostuksen laskennassa.....	21
5	CASE: NORMAL MAP -TEKNIIKAN SOVELTAMINEN.....	23
5.1	Case-osion kuvaus	23
5.2	Matalaresoluutioisen mallin luonti.....	24
5.3	Korkearesoluutioisen mallin luonti	25
5.4	Normal map -tekstuurin luonti	27
5.5	Lopputuloksen tarkastelu	28
6	YHTEENVETO.....	31
	LÄHTEET.....	33
	LIITTEET.....	35

TERMISTÖ

Bump map -tekniikassa jokaisen pikselin kohdalla lasketaan erillisestä harmaasävyisestä tekstuurista objektin pinnanormaalien häirintä, mikä vaikuttaa valaistuksen intensiteetin laskentaan.

Displacement map -tekniikalla lasketaan objektin geometrian muutos erillisestä harmaasävyisestä tekstuurista.

Intensiteetti on säteilyn tai aaltoliikkeen teho pinta-alaa kohti.

Interpolointi tarkoittaa funktion arvioimista tietyssä alueen pisteessä.

Konvekssi monikulmiossa sisäkulman suuruus on korkeintaan 180 astetta.

Normeeraus eli standardointi ns. z-arvoiksi tarkoittaa sitä, että havaintoarvojen jakauman keskiarvoksi tulee nolla ja hajonnaksi yksi.

Mipmap-tekniikassa samasta tekstuurista määritetään eritasoisia kuvia, joista renderöintiovellus valitsee objektiin etäisyydestä riippuen sopivimman tekstuurin suhteessa katselijaan. Tämä nopeuttaa huomattavasti objektin renderöintiaikaa.

Pikseli on bittikartan pienin yksittäinen osa.

Polygoni on vertex-pisteiden määrittämä monikulmio.

Renderöinti tarkoittaa kuvan luomista mallista tietokoneohjelman avulla.

Shader määrittää mitä eri renderöintiominaisuuksia ohjelmisto käyttää kappaleen laskemiseen.

UV-koordinaatit määrittelevät miten kolmiulotteinen kappale kuvataan kaksiulotteisena tasana.

Vertex on monikulmion piste, jossa kaksi sivua kohtaa toisensa.

1 JOHDANTO

Virtuaalisten kolmiulotteisten mallien esittely on yleistynyt varsinkin teollisuuden aloilla. Konkreettisen tuotteen sijasta asiakkaalle esitellään tuotteen virtuaalinen malli, joka on toiminnoiltaan ja visuaalisuudeltaan yhtäläinen. Virtuaalituotteiden interaktiivisessa esittelyssä visuaalisen realismisuuden tavoittelu on yksi tärkeimpiä kriteerejä myyntimarkkinoilla.

Reaaliaikaiset renderöintisovellukset, kuten 3D-pelimoottorit, törmäävät usein ongelmaan, jossa tarvittavien yksityiskohtien esittäminen pelkättään geometrinen pintojen avulla on mahdotonta laskentatehon rajoittuneisuuden vuoksi. Tehokas tapa vähentää laskennallista kuormitusta on yksinkertaistaa mallia vähentämällä mallin geometriaa kuvaavien pintojen lukumäärää, jolloin myös osa yksityiskohdista häviää. Hävinneet geometriset yksityiskohdat voidaan kuitenkin esittää kaksiulotteisten tekstuurien avulla. Monimutkaisten mallien geometrian esittäminen tekstuurikarttoja käyttämällä ei ole kuitenkaan yksioikoista, sillä tuloksena on aina alkupeleistä mallia heikompi visuaalinen tuotos. Haasteena onkin löytää aina tapauskohtaisesti tasapaino mallinnuksen ja sen geometriaa täydentävän tekstuurikarttojen välillä.

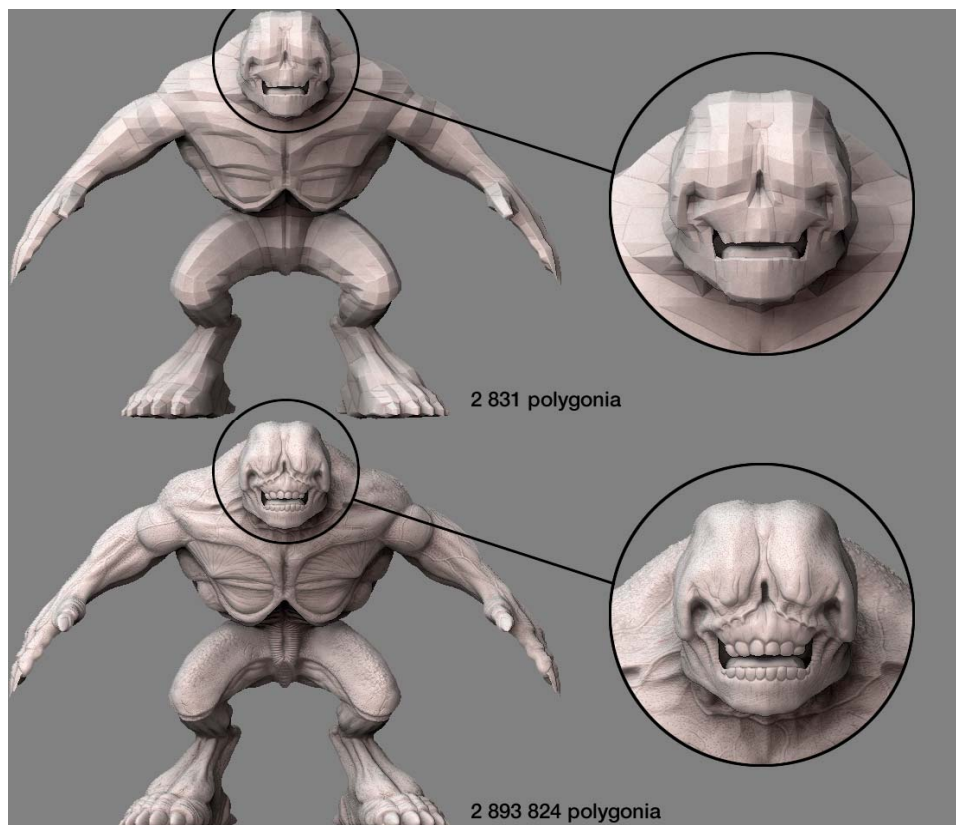
Tässä opinnäytetyössä keskitytään nykyaikaisten 3D-pelimoottorien suosimaan normal map -tekniikkaan. Työssä selvennetään, miten kolmiulotteiset geometriset muodot voidaan tallentaa kaksiulotteiseen normal map -teksturiin. Samalla käydään läpi, miten kyseinen tekniikka hyödyntää valaistuksen laskemiseen käytettäviä pintanormaaleja luodakseen näennäisiä muotoja tasaiselle pinnalle. Standardisoinnin puutteen vuoksi eri ohjelmat ja alustat käyttävät omia tulkintojaan normal map -tekniikasta, joten työssä ei käydä läpi tekniikkaa tukevia sovelluksia, rajapintoja tai laitteistoja.

Työn case-osiossa sovelletaan teoriaosuutta luoden geometrisesti yksityiskohtaisesta mallista reaaliaikaiseen tarkasteluun soveltuva yksinkertaistettu malli normal map -tekniikan avulla.

2 NORMAL MAP

2.1 Normal map -tekniikan määrittely

Normal map -tekniikalla saadaan näennäisesti lisättyä yksityiskohtia matalaresoluutioiseen 3D-malliin laskettaessa sen varjostuksia. Tekniikka ei muuta mallin todellista geometriaa, joten mallin siluetti pysyy samana. Ääriviivoja lukuun ottamatta malli saadaan näyttämään lähes samalta kuin alkuperäinen korkearesoluutioinen malli, josta normal map on luotu. Normal map -tekstuurissa pikselin RGB-arvot edustavat mallin normaalin x-, y- ja z-komponentteja. Valaistuksen laskennassa käytetään normal map -tekstuurin pintanormaaleja mallin vertex-pisteiden normaalivektorien sijaan. Kuvassa 1 matalaresoluutioinen malli koostuu noin 3000 polygonista, kun taas vastaavassa korkearesoluutioisessa mallissa on noin kolme miljoonaa polygonia. Tässä tapauksessa korkearesoluutioista mallia käytetään ainoastaan normal map -tekstuurin luomiseen, joten periaatteessa sen polygonien määrä on rajoittamaton. Luotavan normal map -tekstuurin koko asettaa yksityiskohtien tallennuskapasiteetin rajat.

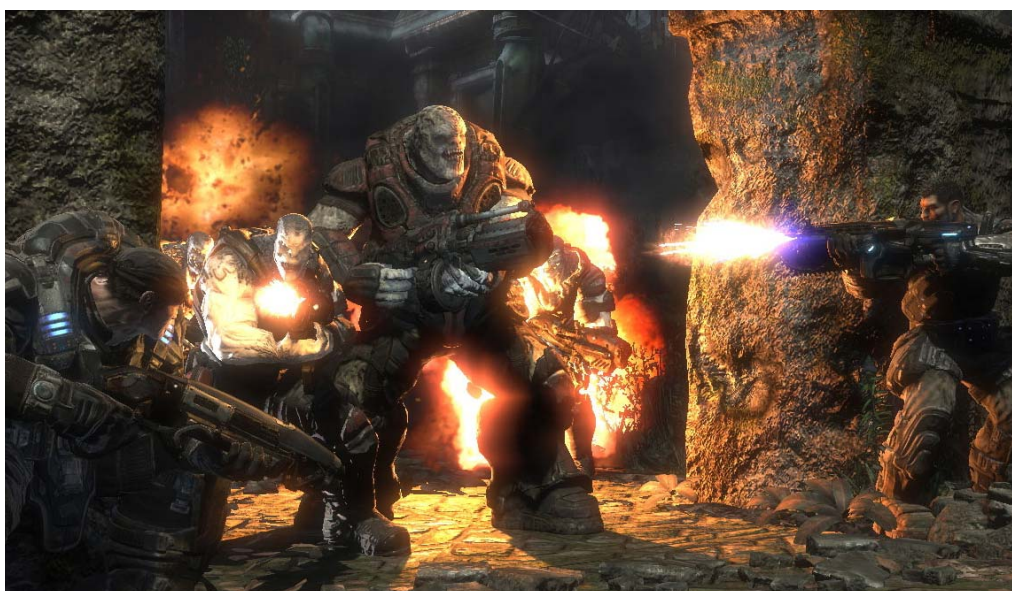


KUVA 1. Matala- ja korkearesoluutioinen malli

2.2 Menetelmän käyttökohteet

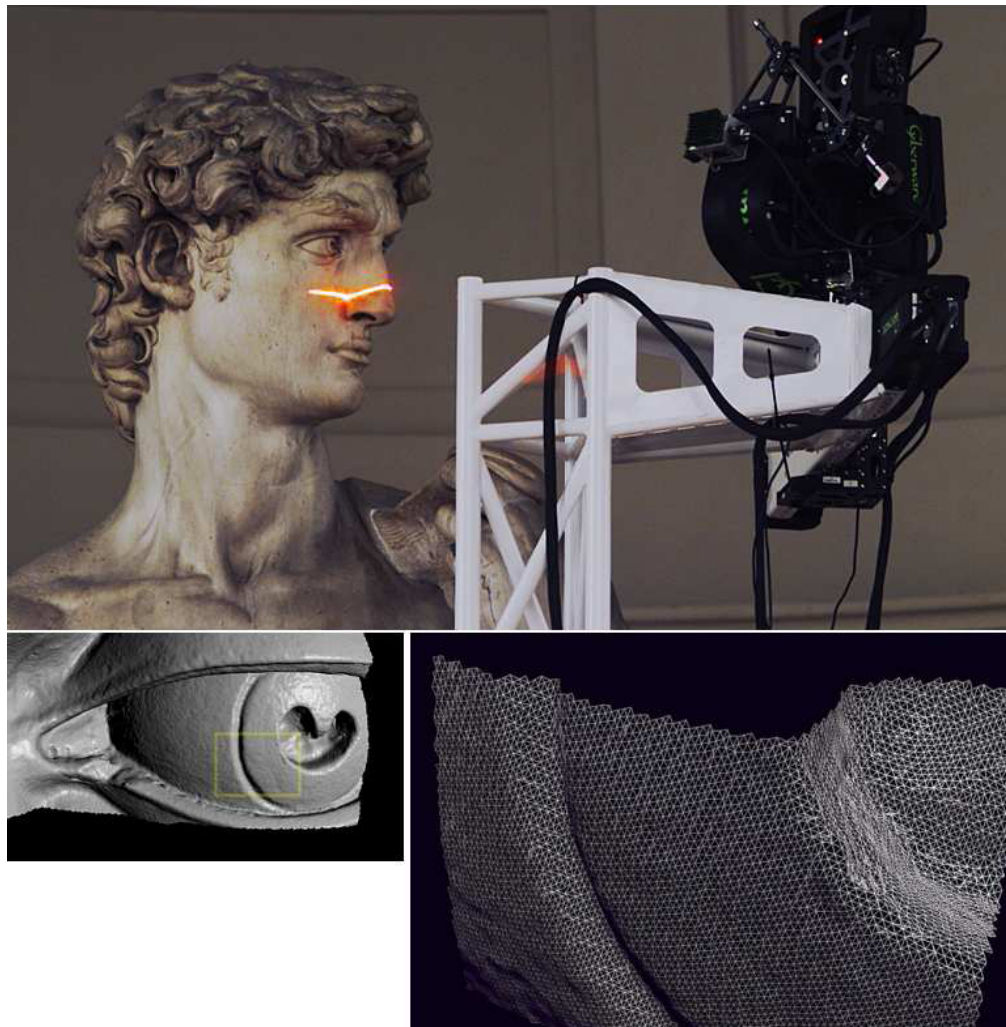
Yhä useammat nykyaikaiset 3D-sovellukset hyödyntävät normal map -tekniikan käyttöä. Lähes kaikki nykyaikaiset grafiikkakortit tukevat helposti sovellettavaa normal map -tekniikkaa, minkä vuoksi se on suosittu tekniikka myös pelimoottoreissa. Myös normal map -tekstuurin luominen on suhteellisen helppoa, sillä se onnistuu yleisimmillä 3D-mallinnusohjelmilla. 3D-sovellusten grafiikan taso on nopeassa nousussa, minkä myötä objektien yksityiskohtien määrä nousee koko ajan. Normal map -tekniikan avulla yksityiskohtien määrää voidaan kasvattaa ilman reaaliaikaisen renderöinnin muodostumista liian raskaaksi. 3D-pelien hahmoissa käytettävät normal map -tekstuurit on laskettu pelihahmojen alkuperäisistä malleista, joissa polygonien määrä on saattanut nousta moneen miljoonaan (KUVA 2).

On usein helpompaa luoda normal map -tekstuuuri kuin mallintaa yksityiskohtaiset geometriat polygonien avulla. Lisäksi normal map -tekniikan käyttö nopeuttaa huomattavasti laskentaprosessia. Verrattuna esimerkiksi sellaisen mallin laskentaan, jossa polygonien määrää on kasvatettu kuvaamaan mallin yksityiskohdat geometrialla. Laitteistosta riippuen voidaan tehokkaammin esitellä epätasaisia pintoja reaaliaikaisissa animaatioissa. (Heidrich, Seidel, 1; Pixologic 2005, 81.)



KUVA 2. Tietokonepeli " Gears of War™ " hahmojen yksinkertaistamisessa on käytetty normal map tekstuureja (Epic Games 2006.)

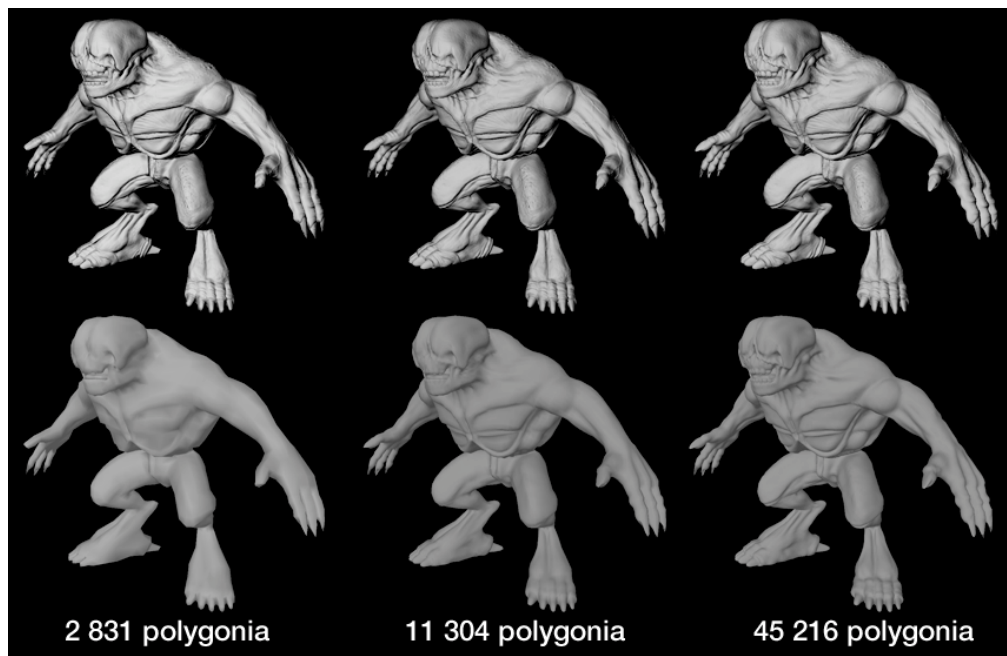
Viihdeteollisuudessa, teollisenmuotoilun ja -valmistuksen aloilla voidaan laserskannauksen avulla tuottaa aidoista esineistä virtuaalisia malleja. Tarkan skannauksen seurauksena esineiden virtuaaliset mallit koostuvat jopa miljoonista polygoneista (KUVA 3). Jotta virtuaalisia malleja voidaan tarkastella reaaliaikaisesti, on mallin yksinkertaistaminen usein välttämätöntä. Menetetyt yksityiskohdat voidaan kuvata normal map -tekniikan avulla. Nykyisin on myös yleistymässä sovellukset, joissa muita pinnan geometriaa kuvaavia tekstuureja käytetään yhdessä normal map -tekstuurien kanssa. (Luoma 2003, 11.)



KUVA 3. Michelangelon David patsaan laserskannaus (Luoma 2003.)

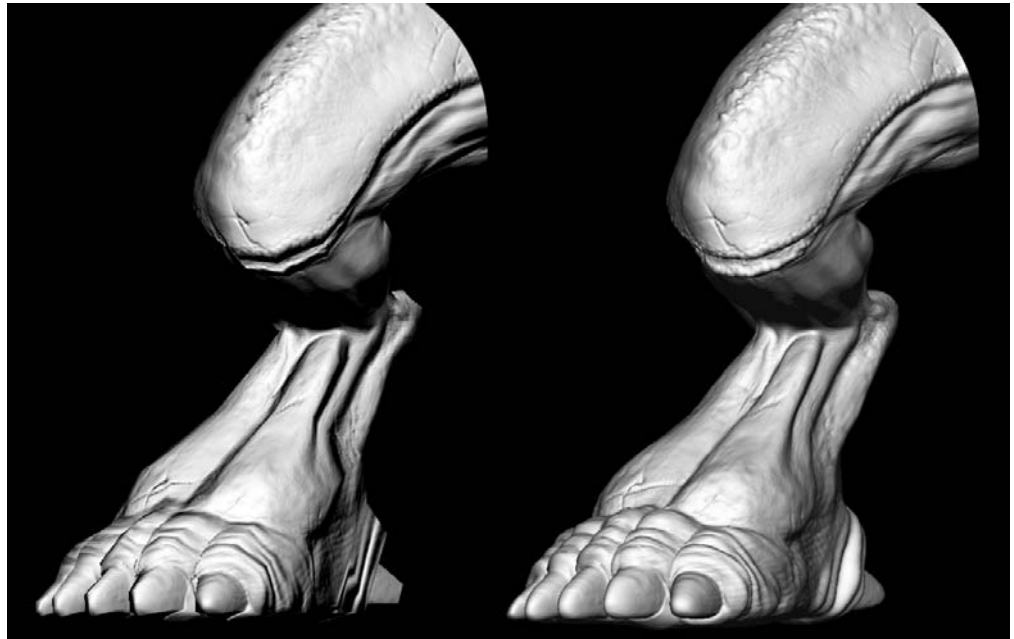
2.3 Menetelmän edut ja ongelmakohdat

Nykyaikaisten virtuaalimallien polygonien määrä nousee helposti satoihin tuhansiin, jolloin mallin valaistuslaskenta ja reaaliaikainen tarkastelu vaatii erittäin paljon laskennallista tehoa. Varsinkin laserskannauksella tuotettujen mallien geometrian yksinkertaistamisella on suuri tarve. Ongelmana on, että mallin geometriaa yksinkertaistettaessa menetetään myös osa sen yksityiskohdista. Alkuperäisestä, korkeatasoisesta mallista voidaan siirtää yksityiskohtia normal map -tekstuuriin, jonka avulla matalatasoiselle mallille voidaan kuvata samat yksityiskohdat. Tällä tekniikalla toteutettuna mallin polygonien määrää voidaan vähentää sadasosaan alkuperäisestä tai jopa pienemmäksi, ilman huomattavaa visuaalista muutosta (KUVA 4). (Discreet, 3-4; Luoma 2003, 4.)



KUVA 4. Objekti eri polygonimäärillä esitettynä. Yllä valaistuksen laskentaan on käytetty normal map -tekstuurin normaaleja, alla polygonien kärkipisteiden normaaleja

Normal map -tekniikan käyttö vaatii järjestelmältä jonkin verran laskenta-tehoa, sillä sen valaistuslaskelmiin vaikuttavat vektoreiden kierrot, niiden interpoloinnit ja vektoreiden välisien kulmien kosinit. Normal map -tekniikka ei muuta kappaleen geometrista muotoa, jolloin käytettynä yksinkertaisen kappaleeseen, mallin reunat voivat esiintyä häiritsevän kulmikkaina (KUVA 5). Orgaanisille ja animoitaville malleille normal map -tekstuurin luominen on yleensä monimutkaista ja saattaa vaatia ylimääräistä jälkikäsitelyä. (Discreet, 3-4; Luoma 2003, 4.)

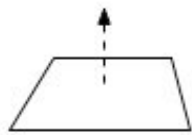


KUVA 5. Yksinkertaistetun objektin reunat näkyvät kulmikkaina

3 NORMAL MAP -TEKNIIKAN RAKENNE

3.1 Pinnan normaalin vaikutus valaistukseen

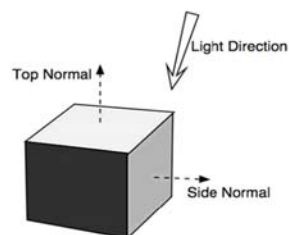
Pinnan normaali on yksinkertaisesti selitettynä suuntavektori, joka osoittaa pinnasta poispäin ja jonka välinen kulma pintaan nähden on tasan 90 astetta. Esimerkiksi, kun pöydän pinnalla olevalle paperiarkille asetetaan kynä osoittamaan suoraan ylöspäin, on tämä kynä paperiarkin normaalin suuntainen (KUVA 6).



KUVA 6. Pinnan normaali horisontaaliselle tasolle (Pixologic 2005.)

Kun tasainen pinta suunnataan siten, että sen normaali osoittaa valonlähdettä kohti, valaisee valonlähde tämän pinnan kirkkaasti. Suunnattaessa tämän pinnan normaali poispäin valonlähteestä, tummenee kyseinen pinta. Jos pinnan normaalin suunnan ja valon kulkusuunnan välinen kulma on 90 astetta tai yli, ei pinta valaistu ollenkaan. (Pixologic 2005, 78.)

Kun valkoista kuutiota valaistaan siten, että päällimmäisen pinnan normaali osoittaa lähes suoraan kohti valonlähdettä (KUVA 7), tämä pinta valaistuu kirkkaimmin. Oikealla sivulla olevan pinnan normaali osoittaa enemmän poispäin valonlähteestä, joten pinta on valaistu himmeämmin. Etualalla oleva pinta on täysin tumma, sillä sen normaalin ja valon kulkusuunnan välinen kulma on yli 90 astetta. (Pixologic 2005, 78.)

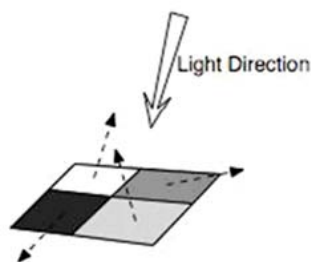


KUVA 7. Valaistu valkoinen kuutio (Pixologic 2005.)

Kun renderöijä laskee, kuinka kirkkaasti valo valaisee pintaa, suoritetaan se melkein aina yksinkertaisella laskutoimituksella, johon sisältyy pinnan normaalin ja valon kulkusuunnan välinen kulma. Tämä vaikuttaa itsestään selvältä, mutta siihen liittyy huomion arvoinen yksityiskohta: valaistuksen laskentaan käytetään pinnan suunnan sijasta pinnan normaalin suuntaa. Tällä seikalla ei ole merkitystä niin kauan kuin pinnan normaali osoittaa kohtisuoraan pinnasta poispäin. Mutta jos annamme renderöijälle pinnan normaalin suunnasta poikkeutetun arvon, voimme vaikuttaa näennäisesti pinnan valaistuksen intensiteettiin ja näkyvään pinnan suuntaan ilman, että oikeasti muuttaisimme pinnan suuntausta. (Pixologic 2005, 78-79.)

3.2 Pinnan normaalin häirintä

Kuten todettiin, pinnan normaali tietyssä pisteessä on suunta, joka on kohtisuorassa pintaan nähden kyseisessä pisteessä. Mutta kun tarkoituksena on laskea pinnan valaistusta, voidaan minkä tahansa polygonin pinnan pisteessä olevaa normaalin suuntaa poikkeuttaa. Tämä tarkoittaa, että voidaan teeskennellä pinnan normaalin osoittavan tietyssä pisteessä eri suuntaan kuin se oikeasti osoittaa. Poikkeutettu pinnan normaali voi osoittaa mihin suuntaan tahansa. Poikkeutus pinnan oikealle normaalille tehdään normal map -tekstuurin tietojen avulla. (Pixologic 2005, 79.)



KUVA 8. Pinnan normaalien poikkeuttaminen (Pixologic 2005.)

Kun neljään osaan jaetun nelikulmion pinnan normaaleja poikkeutetaan eri suuntiin valaistusta laskettaessa (KUVA 8), on valaistuksen voimakkuus eri jokaisessa pinnassa. Valaistuksen laskentaa tehtäessä käytetään valon suunnan ja valaistavan pinnan normaalin välistä kulmaa. Laskettu kuva voi luoda illuusion siitä, että pinnan eri alueet ovat keskenään eri kulmissa, vaikka pinta on täysin lattea. (Pixologic 2005, 80.)

3.3 Pinnan normaalit specular- ja reflective-valaistuksilla

Edeltävät selitykset pätevät ainoastaan yhdelle valaistustyyppille, diffuse-valaistukselle. Siinä oletetaan valaistavan pinnan hajottavan tulevan valon tasaisesti joka suuntaan. Toinen yleinen valaistustyyppi on specular-valaistus, joka tuottaa valon maksimiheijastuksia sille pinnoille samalla tavalla kuin kohdevalo tuottaa biljardipallon pintaan. Specular-valaistuksessa valon oletetaan heijastuvan jonkin suunta-asteen mukaan sen sijaan, että valo hajoaisi täydellisesti joka suuntaan. (Pixologic 2005, 79.)

Specular-valaistusta laskettaessa voidaan käyttää hyväksi pinnan normaaleja. Yleisesti specular-valaistuksen kirkkaus riippuu pinnan normaalin sekä valon ja katselijan suuntien keskiarvoisen suunnan välisestä kulmasta. Tämä keskiarvoinen suunta on helppo visualisoida. Ajatellaan, että yhdellä kohdevalolla valaistulla lavalla on näyttelijä ja yleisössä on yksi katsoja. Otetaan suunta näyttelijästä katsojan ja kohdevalon puoliväliin. Tämä on katsojan ja kohdevalon keskiarvoinen suunta. (Pixologic 2005, 79.)

Reflective-valaistus on specular-valaistuksen versio, jossa ei tapahdu huomattavaa valon sirottumista. Esimerkiksi peilin tai veden pinnan heijastukset. Realismin lisäämiseksi specular-valaistuksesta heijastukset lasketaan usein erikseen reflection map -tekstuurin tietojen avulla. Tämä voidaan hoitaa myös normal map -tekstuurin avulla. Suunta pinnan pisteestä katselijaan käännetään 180 astetta pinnan normaalin ympäri ja tätä uutta suuntaa käytetään määriteltäessä reflection map -tekstuurin avulla pisteen väriä ja kirkkautta. (Pixologic 2005, 79.)

3.4 Normal map -tekstuurin koko

Kun korkearesoluutioisen mallin polygonit jaetaan UV-koordinaatistoon tasaisesti, voidaan optimaalisena normal map -tekstuurin kokona pitää sellaista pikseli määrää, jossa jokaisen polygonin normaalin informaatio tallentuu tekstuuriin. Toisin sanoen tekstuurin pikselien lukumäärän tulee olla vähintään yhtä suuri, kuin alkuperäisessä mallissa on polygoneja. Riit-

tävän suuri pikselimäärä taataan, jos normal map -tekstuurin koko on $1/d \times 1/d$, missä d on minimietäisyys kahden tekstuurikoordinaatin välillä. Tällöin $d = \min_{V_i, V_j \in M_0, i \neq j} \|F(V_i) - F(V_j)\|$. (Cohen, Manocha, Olano, 4; Pixologic 2005, 15.)

Jos tekstuurissa on paljon enemmän pikseleitä kuin alkuperäisessä kapaleessa on polygoneja, kartoitetaan yhden polygonin normaalin tiedot useaan kertaan, jolloin tekstuuri sisältää turhaa, ylimääräistä informaatiota. Päinvastaisessa tapauksessa, kun polygonien määrä ylittää pikselien määrän, jää monen polygonin tiedot tallentamatta. Tällöin osa yksityiskohdista häviää. (Cohen ym, 4; Pixologic 2005, 15.)

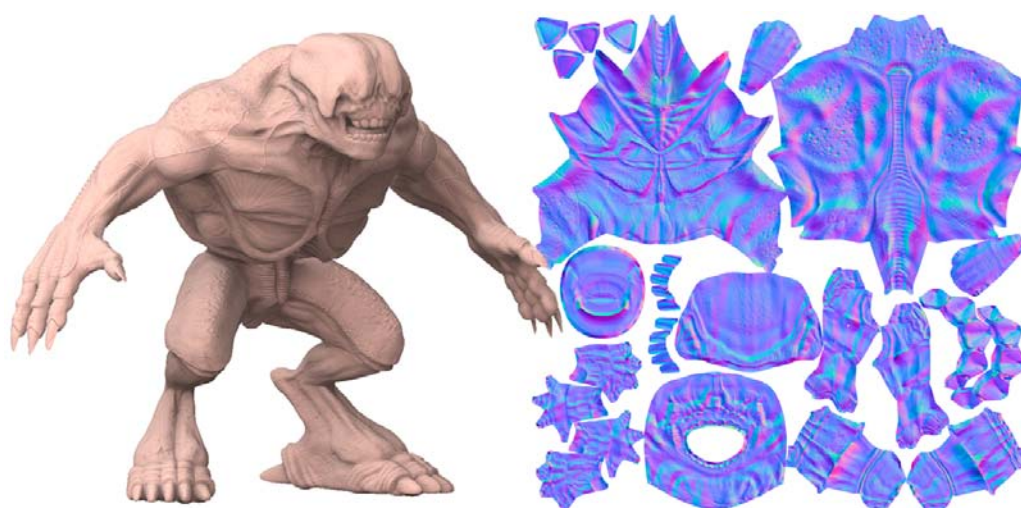
Normal map -tekstuurin koko on, muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta, muodossa $2^n \times 2^n_{n \in \mathbb{N}}$. Tekstuurin leveys ja korkeus ovat siis aina samat. Mallin polygonien ja tekstuurin pikselien määrien sovittaminen toisiinsa on vaikeaa, sillä tekstuuria kasvatettaessa seuraavaan mahdolliseen kokoon sen pikselimäärä nelinkertaistuu edelliseen kokoon verrattuna. Jos sovellus sallii, saadaan parempi lopputulos käyttäen tekstuuria, jossa pikseleitä on vähintään yhtä paljon kuin alkuperäisessä mallissa on polygoneja. (Pixologic 2005, 15.)

Luotaessa normal map -teksturi bump map -tekstuurista, tulee lähde-tekstuurin mittojen (korkeus ja leveys) olla samat tai korkeintaan kaksinkertaiset luotavan tekstuurin mittoista. Pienempiä bump map -tekstuureja käytettäessä ei pystytä luomaan niin paljon yksityiskohtia normal map -teksturiin kuin olisi mahdollista. Vastaavasti suurempien tekstuurien kääntämisessä häviää osa yksityiskohdista. Koska bump map -tekstuurin korkeus- ja leveysmitat eivät välttämättä ole keskenään samat tai toisen potenssissa, on tekstuurin kääntäminen normal map -tekstuuriksi joskus hankalaa. (Pixologic 2005, 15.)

3.5 Normal map -teksturi

Normaalivektori on kolmella koordinaatilla määritelty tilan suuntavektori, joiden x-, y- ja z-komponentit ovat liukulukuja $-1 - 1$ välillä. Normal map -tekstuuria tehtäessä jokaisen pisteen koordinaatit tallennetaan tyypillisesti

RGB-kuvatiedostoon. Jonkin tietyn tiedostoformaatin sijasta, voidaan käyttää mitä tahansa tavallista esimerkiksi 32-bittistä kuvatiedostomuotoa. 32-bittisessä kuvassa on neljä eri datakanavaa: punainen, vihreä ja sininen värikanava sekä alfakanava, jota yleensä käytetään kuvan läpinäkyvyyden määrittelyyn. Jokainen näistä kanavista on kahdeksan bittinen, joten jokaiseen kuvan pisteen kanavaan voidaan tallentaa yksi 256:sta eri arvosta. Tallennettavan suuntavektorin x-, y- ja z-arvot tallennetaan kyseisen pikselin vastaaviin värikanaviin. Bittien vähyys voi aiheuttaa pyöristysvirheitä talletettuihin normaalivektoreihin. Kuvatiedoston alfa-kanava jätetään normal map -tekstuurissa huomioimatta. Luodun kuvan jokainen pikseli ilmentää normaalin suuntaa sitä kuvaavalla väriarvolla (KUVA 9). (Luoma 2003, 7; Pixologic 2006, 82-83; Policarpo, Oliveira, Comba 2005, 3.)



KUVA 9. Korkearesoluutioinen objekti ja siitä luotu normal map -teksturi

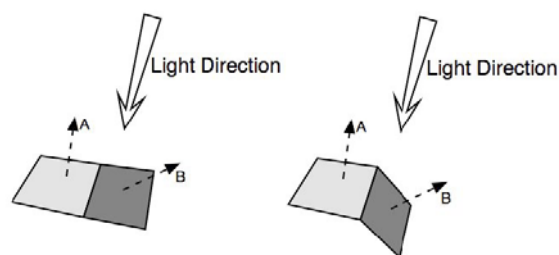
3.6 Tangent ja object space

Normal map -tekniikka määrittää mallin pinnanormaalien suunnat UV-koordinaattien osoittamissa polygonien pisteissä. Nämä suunnat ovat kuitenkin suhteellisia: kun pinnan normaalin sanotaan suuntaavan ylöspäin, voi suunta olla joko kohti mallin huippua tai kohtisuoraan ulospäin polygonin pinnan tasoon nähden. Normal map -teksturi voidaan luoda käyttäen kumpaa suuntaa tahansa. Kun normaalin suunta ylöspäin on sama kuin mallin koordinaattien mukainen suunta ylöspäin, on kyseessä

object space normal map. Tangent space normal map määrittää suunnat suhteellisesti polygonin pinnan suuntaan nähden. (Pixologic 2005, 85.)

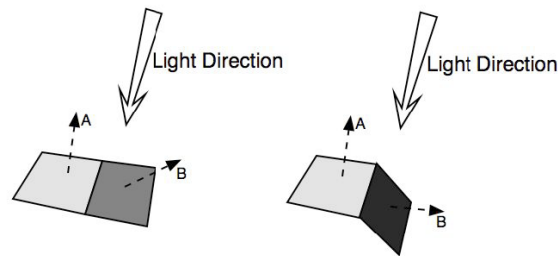
Kuvissa 10 ja 11 nähdään yksinkertaistettuna, miten pinnan normaalin suunnan häirintä vaikuttaa valaistuksen intensiteettiin. Näissä esimerkeissä normal map -tekniikalla häiritään vain yhtä pinnan normaalin suuntaa polygonia kohden. Todellisuudessa tällä tekniikalla voidaan häiritä polygonin eri tasopisteissä useampaa pinnan normaalin suuntaa. Toimintaperiaate pysyy kuitenkin samana. Object space normal map -tekstuurin mukaan suunnatut normaalit eivät kierry niille osoitetun polygonin pinnan mukana, kuten tangent space normal map -tekstuurin mukaiset normaalit kiertyvät. (Pixologic 2005, 85.)

Käytettäessä normal map -tekniikkaa object space -tulkinalla, polygonin varjostus ei muutu polygonin suunnan muuttuessa. Mallin muuttuessa varjostuksesta ei tule odotetun realistista, sillä polygonin normaalin suunta pysyy muuttumattomana. Kuvassa 10 on kaksi yhdensuuntaista polygonia. Valaistusten intensiteetit poikkeavat toisistaan, sillä toisen polygonin (*B*) pinnan normaali määritellään object space normal map -tekniikalla. Kuvan oikealla puolella polygonia *B* kierretään myötäpäivään. Koska polygonin normaalin suunta määritellään object space -tulkinalla, pysyy sen suunta samassa suhteessa malliin ja valonlähteeseen. Näin ollen valaistuksen intensiteetti säilyy samana, polygonin kiertyneisyydestä huolimatta. (Pixologic 2005, 85.)



KUVA 10. Pinnan normaali object space -tulkinalla (Pixologic 2005.)

Seuraavassa kuvassa (KUVA 11) nähdään, miten tangent space -tulkinnalla määritetyn pinnan normaalin suunta muuttuu sille osoitetun pinnan mukaan, muuttaen pinnan kirkkautta odotetusti.



KUVA 11. Pinnan normaali tangent space -tulkinnalla (Pixologic 2005.)

Myös kuvassa 11 toista polygonia kierretään myötäpäivään. Tässä tapauksessa normaalit määritellään tangent space -tulkinnalla, jolloin pinnan suunnan muuttuessa vastaavan normaalin suunta muuttuu samassa suhteessa. Seurauksena on, että valaistuksen intensiteetti muuttuu kierretessä polygonissa oletetusti. (Pixologic 2005, 86.)

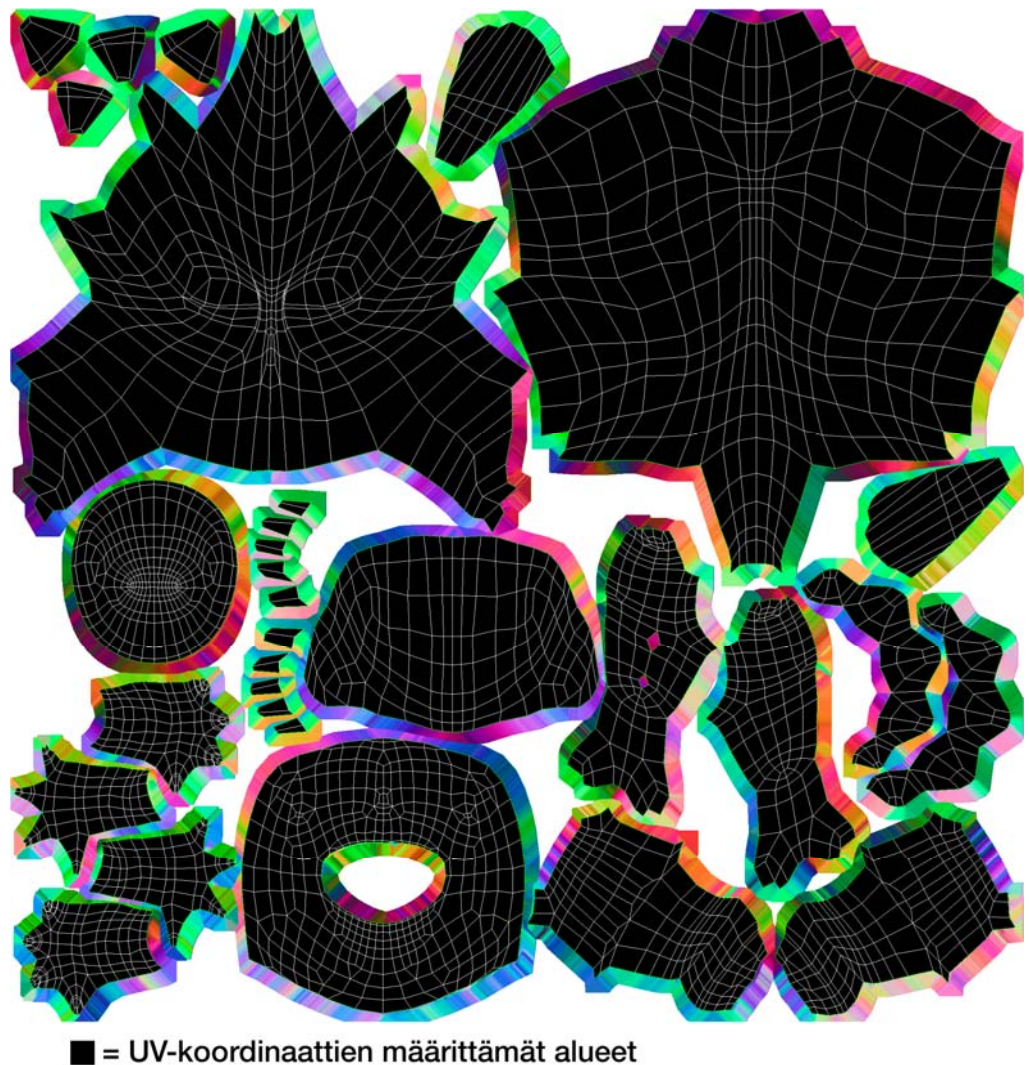
Verrattuna tangent space normal map -tekniikkaan object space normal map -tekniikan rajoittuneisuus on, että jokaisella polygonilla tulee olla oma erillinen UV-koordinaatti. Näin ollen samaa tekstuurin osaa ei voida määrittää käytettäväksi useammalle mallin polygonille. Tekstuurin uudelleen käyttö on aika yleinen käytäntö: mallinnettujen kasvojen vasen ja oikea puoli voivat omata samat UV-koordinaatit, käyttäen tehokkaasti yhtä tekstuurin osaa molemmille puolille kasvoja. Vaikka kasvojen toisen puolen normaalit osoittavat ilmeisesti vastakkaisiin suuntiin, täytyy jokaisen peilattun normaalin alue määrittää omana alueena tekstuurissa. Täten tekstuurin tiedoista jopa puolet voi olla ylimääräistä dataa. Tämä johtuu object space -tulkinnan yksinkertaisesta toteutuksesta. Symmetristen objektien kohdalla tämä ongelma voidaan kuitenkin kiertää luomalla normal map -tekstuurin vain toiselle mallin puoliskolle. Puoliskot renderöidään erikseen ja kun peilattu mallin puolisko renderöidään, peilataan valon vektorit tekstuurin normaalien sijaan. (Kreuzer, 2002.)

Tangent space normal map -tekstuuria voidaan pakata helpommin talentamalla ainoastaan vektoreiden x- ja y-koordinaatit. Koska normaalit ovat yksikkövektoreita ja tangent space normal map -tekstuurin z-

koordinaatti on aina positiivinen, voidaan z-koordinaatti helposti laskea:

$$normal_z = \sqrt{1 - Normal_x^2 - Normal_y^2}. \text{ (Kreuzer, 2002.)}$$

Pieni ongelma saattaa syntyä, kun normal map -tekstuureja käytetään mipmap-tekniikan kanssa. Tällöin voi syntyä näkyviä saumakohtia, kun tekstuurin pienentäminen aiheuttaa UV-koordinaattien reunojen sopimattomuuden tekstuurin reunojen kanssa. Tämä voidaan korjata laajentamalla normal map -tekstuurin alueiden reunoja (KUVA 12). Tangent space normal map -tekstuurin kanssa väärin asettuneet UV-koordinaatit eivät häiritse yhtä paljon, sillä tekstuuri on pääosin sinisävyinen positiivisen z-koordinaatin johdosta. (Kreuzer, 2002.)



KUVA 12. Laajennetut tekstuurialueiden reunat

3.6.1 Object space map -tekniikan soveltuvuus

Object space normal map -tekniikka soveltuu mihin tahansa objektiin, jonka polygonien suhde malliin ei muutu. Mallia voidaan kuitenkin liikuttaa, skaalata tai kiertää, mutta ei muotoilla. Tämä usein tarkoittaa mitä tahansa kiinteää mallia. Maastojen, huonekalujen tai erilaisten kohokuvioitujen esineiden, kuten koristemiekköjen yksityiskohdat voidaan kuvata varsin tehokkaasti object space normal map -tekstuurein. Normal map -tekniikan avulla voidaan luoda miekan terän ja kahvan koristeet tai puuoven kaiverukset ja puunsyyt. Object space normal map -tekstuurin luominen on helppoa, eikä yleensä vaadi jälkikäsitteilyä halutun lopputuloksen saamiseksi. Niiden käyttö on myös laskennallisesti suhteellisen tehokasta. (Pixologic 2005, 86.)

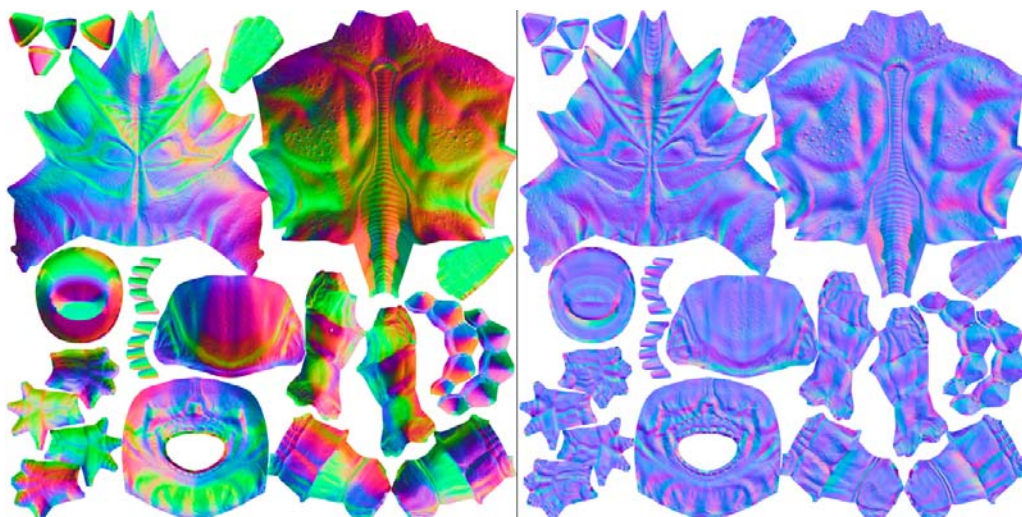
Käytännössä on vielä kolmas normal map -tulkinta, world space normal map. Tämä on muuten samanlainen object space -tulkinnan kanssa, mutta mallin koordinaatiston sijasta käytetään globaalia, käytettävän maailman koordinaatistoa. Tällöin kyseistä objekta voidaan skaalata tai liikuttaa, mutta ei kiertää. Vaadittava laskennallisen tehon ero world space ja object space normal map -tekniikoiden käytössä on häviävän pieni, joten on harvoin syytä käyttää world space -tulkinnalla luotua tekstuuria. (Pixologic 2005, 86.)

3.6.2 Tangent space map -tekniikan soveltuvuus

Tangent space normal map voidaan määrittää mihin tahansa malliin, mutta sen käyttöä edellytetään malleihin joita animoidaan tai muotoillaan muuten kuin yksinkertaisen skaalauksen tai kierron avulla. Käytännössä tangent space normal map -tekstuuri luodaan kaikille animoitaville organisoille malleille. Verrattuna world space tai object space -tulkintoihin, tangent space vaatii huomattavasti enemmän laskenta tehoa. Halutun lopputuloksen saavuttamiseksi luotu normal map -tekstuuri vaatii usein jälkikäsitteilyä johtuen osaksi animoitavien mallien kanssa työskentelyn monimutkaisuudesta. (Pixologic 2005, 86.)

3.6.3 Tangent ja object space map -tekstuurien tunnistaminen

Normal map -tekstuuri on 2-ulotteinen kuva, jossa värit kuvaavat normaalivektorien koordinaattisuuntia. Tästä johtuen sovellukset eivät erota automaattisesti tangent space ja object space -tulintoja toisistaan. Silmämääräisesti vertailtaessa näitä kahta eri tulinnoin luotuja normal map -tekstuureja keskenään, voidaan huomata tangent space -tulinnan omaavan tekstuurin värien näyttävän sinertäviltä. Object space -tulinnalla luodussa tekstuurissa on yleensä värien täydellinen kirjo (KUVA 13). Tosin yksinkertainen object space normal map -tekstuuri voi sinertävää tangent space -tekstuurin tavoin. Molemmiin tavoin luoduissa tekstuureissa normaalit osoittavat ”poispäin” polygoneista, sillä polygonin ”taakse” osoittavia normaaleja ei voi olla. Kun kyseessä on tangent space normal map, määritteellä ”poispäin” polygonista viitataan kyseisen pisteen z-koordinaatin olevan aina positiivinen luku. Tässä tapauksessa sinisestä tulee tekstuurin hallitseva väri, sillä normal map -tekstuuriin z-koordinaatti talletetaan siniseen värikanavaan. On siis tärkeää luoda tapauskohtaisesti oikeanlainen normal map -tekstuuri ja määrittää sovelluksessa, mitä tulkintaa kyseinen malli käyttää. Sovelluksesta riippuen tämä voi vaatia tietynlaisen shader-ominaisuuden käyttöä tai eri materiaali valintojen määrittelyjä. (Pixologic 2005, 86.)



KUVA 13. Vasemmalla object space -tekstuuri, oikealla tangent space -tekstuuri

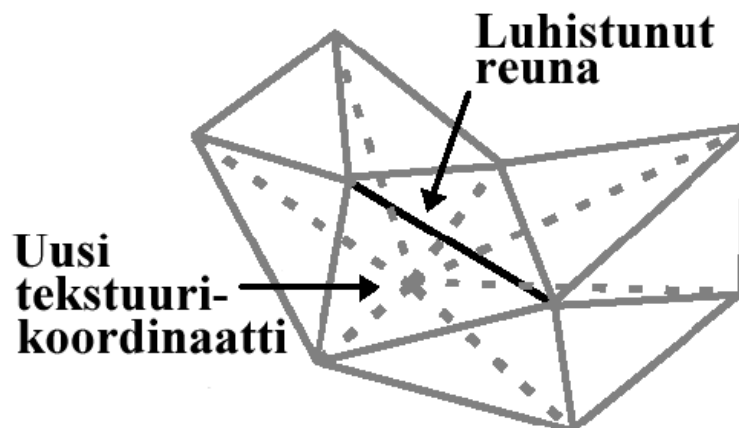
4 NORMAL MAP -TEKSTUURIN LUONTI

4.1 Normal map -tekstuurin laskeminen

Ennen kuin normal map -tekstuuri voidaan luoda halutusta objektista, täytyy kolmiulotteinen kappaleelle tehdä kaksiulotteinen parametrusointi. Kappaleen kaksiulotteisessa parametrusoinnissa luodaan kuvaus kolmiulotteisen kappaleen pisteistä kaksiulotteiselle tasolle. Kun tiedetään kolmiulotteisen kappaleen kuvaava polygonijoukko MO ja sitä kuvaava kaksiulotteinen parametrusointi F , voidaan normal map -tekstuuri muodostaa. Yksittäisen polygonin kärkipisteen koordinaatti $F(V_j)$ lasketaan polygonijoukon MO jokaisesta kärkipisteen koordinaatista V_j . Lasketut tekstuurikoordinaatit kuvaavat kolmiulotteisen polygoniobjektin vertex-pisteitä normal map -tekstuurissa. (Cohen ym, 3; Luoma 2003, 5.)

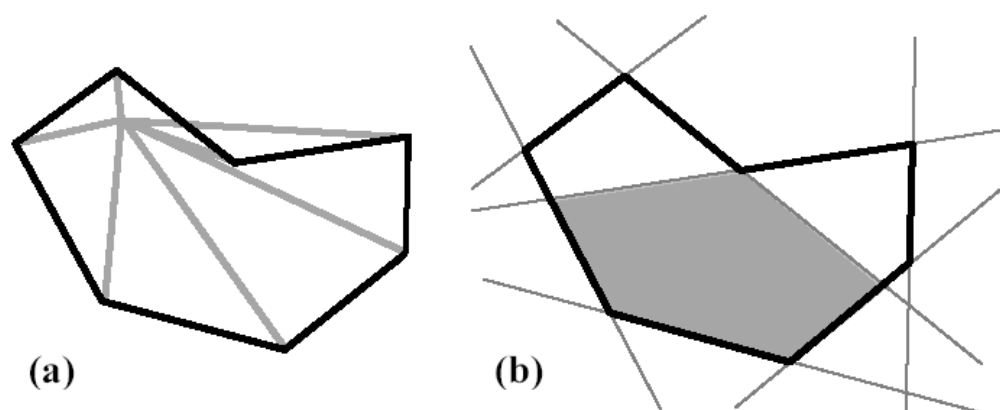
4.2 Polygonien vähentämisen vaikutus UV-koordinaatteihin

Kun mallin geometrista muotoa yksinkertaistetaan, jotkut sen reunoista luhistuvat. Tämän vaikutuksesta kaksi mallin vertex-pistettä korvataan yhdellä uudella vertex-pisteellä (KUVA 14). Samalla hylätään poistettujen vertex-pisteiden UV-koordinaatit. Uuden vertex-pisteen koordinaatit ja UV-koordinaatit saadaan laskettua mallin yksinkertaistamiseen käytettävällä algoritmilla. (Cohen ym, 5; Luoma 2003, 6.)



KUVA 14. Objektin reunan luhistuminen (Luoma 2003.)

Kuvan 15 tapaan, luotu UV-koordinaatti tulee sijaita konveksin alueen sisällä. Reunan luhistumisen jälkeen kolmiot peittävät tekstuurista täsmälleen saman alueen kuin aikaisemmin (KUVA 15). Luodun vertex-pisteen koordinaattien kelpoisuus testataan sarjalla pistetuloja, jolloin taataan pisteen sijainti konveksin alueen sisäpuolella. Uutta vertex-pistettä luotaessa sen mahdollinen sijainti määritetään ensin kokeilemalla muutamia heuristisesti valittuja koordinaattipisteitä. Näitä ovat muun muassa luhistuneen reunan keski- ja päätepisteet. Heuristisesti valittujen koordinaattipisteiden ollessa kelpaamattomia, lasketaan luotavan vertex-pisteen koordinaatit konveksin alueen sisäpuolelta kolmen kulmapisteen keskiarvona. (Cohen ym, 5; Luoma 2003, 6.)



KUVA 15. (a) Väärin valittu vertex-piste, (b) uuden vertex-pisteen tulee sijaita merkityllä konveksin alueella (Luoma 2003.)

4.3 Bump map -tekstuurin muunto normal map -tekstuuriksi

Yksi helpoimmista tavoista luoda normal map -teksturi on laskea se olemassa olevasta bump map -tekstuurista. Tämä metodi on erittäin soveltuva ja yksinkertainen, jolloin aikaa ei kulu uusien normal map -tekstuurien luomiseen. Normal map -tekniikan käytössä globaalisia etäisyyden yksiköitä ei tarvitse määritellä, toisin kuin käytettäessä bump map -tekniikkaa. (Pixologic 2005, 83.)

Bump map -tekstuurin muuntaminen normal map -tekstuuriksi ei ole täydellistä, sillä bump map -tekniikalla ei voida kuvata yhtä paljon suuntainformaatiota kuin saman resoluutioisella normal map -tekstuurilla. Siksi vi-

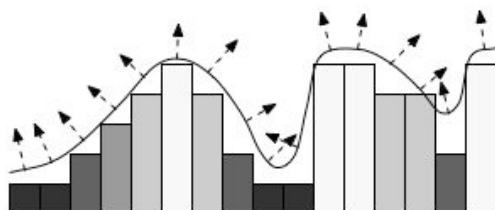
suaalinen teho voi jäädä paljon vaimeammaksi kuin käytettäessä normal map -tekniikkaa, jossa tekstuuri on luotu suoraan alkuperäisestä mallista. Normal map -tekniikka sisältää myös ehdotonta tietoa mallista ja sen tangenteista. Bump map -tekniikka ei sisällä kyseistä informaatiota. Helpoiten muunnos tapahtuu, kun tekstuuria käytetään tasaiselle seinälle tai lattialle kuvaavalle pinnalle. (Pixologic 2005, 84.)

Joko laitteiston tai ohjelmiston toimesta, bump map -tekstuuri konvertoidaan normal map -tekstuuriksi ennen näytölle piirtoa. Seuraavassa esimerkissä (KUVAT 16-18) käytetään bump map -tekstuurissa vaaleita sävyjä kuvaamaan korkeampia alueita ja tummia sävyjä kuvaamaan matalampia alueita, mutta jotkin sovellukset tekevät juuri päinvastoin. Käsite on silti sama. Esimerkin vaiheet antavat käsitteellisen kuvan siitä, miten bump map -tekstuurin pisteet muunnetaan pinnan normaaleiksi. Eri kääntäjät tai laitteistot voivat suorittaa nämä vaiheet eri tavoin. Esimerkki tuottaa vain kaksiulotteisia normaaleja x- ja y-koordinaatein. Täydellinen kaksiulotteinen bump map -tekstuuri tuottaa kolmiulotteisia normaaleja. (Pixologic 2005, 80.)

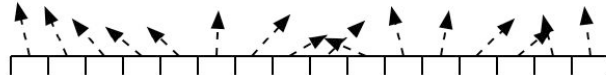
Kun yksittäinen bump map -tekstuurin pikselilirivi (KUVA 16) konvertoidaan pinnan normaaleiksi, lasketaan pikselien värin mukaan pinnan vaihtelun korkeus. Sivulta tarkasteltaessa tuotetun korkeusprofiilin jokaiseen korkeuskoordinaattipisteeseen sovitetaan kurvi, josta pinnan normaalit lasketaan (KUVA 17). Tuotetut normaalit osoitetaan jokaisen pisteen kohdalle. Kun joko laitteisto tai ohjelma on suorittanut laskelmat, bump map -tekstuuri hylätään ja jäljelle jäävät normaalien suunnat, joiden avulla valaistus lasketaan (KUVA 18). (Pixologic 2005, 80-81.)



KUVA 16. Pikselirivi bump map -tekstuurista (Pixologic 2005.)



KUVA 17. Muunnos normaaleiksi ja pinnan korkeuksiksi (Pixologic 2005.)

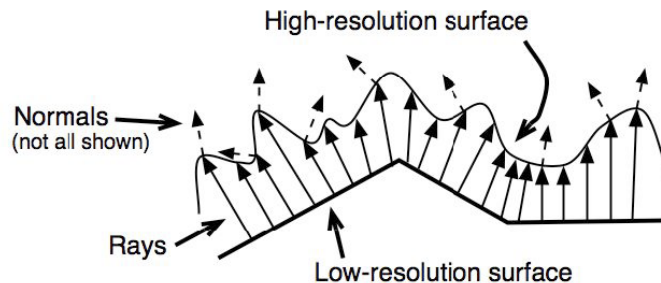


KUVA 18. Pikselien paikoille sijoitetut normaalit (Pixologic 2005.)

4.4 Raytracing/raycasting-tekniikka

Käyttökelpoinen tapa ajatella normal map -tekstuurin luomista pohjautuu raytracing- tai raycasting-tekniikkaan. Molempia sanoja käytetään usein kuvaamaan tätä tiettyä normal map -tekstuurin luomiseen käytettävää tekniikkaa. Termit tulevat raycasting ja raytracing -renderöinnistä, jotka ovat keskenään samanlaisia.

Raytracing-menetelmässä matalaresoluutioinen ja korkearesoluutioinen kappale asetetaan sisäkkäin. Matalaresoluutioisen kappaleen pinnasta projisoidaan säteitä korkearesoluutioisen kappaleen pintaan (KUVA 19). Jokaisen säteen kohdalta lasketaan pinnan normaalin suunta, jota käytetään normal map -tekstuurin UV-koordinaattien osoittamien normaalivektoreiden tapaan. (Pixologic 2005, 84.)



KUVA 19. Raytracing projisointi (Pixologic 2005.)

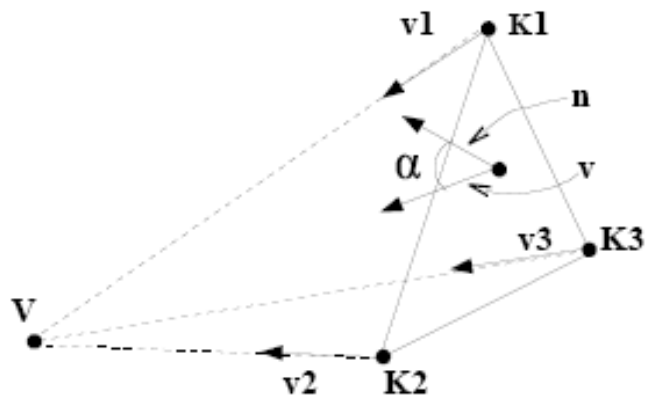
Kuvassa 19 säteet on projisoitu matalaresoluutioisesta pinnasta korkearesoluutioiseen pintaan. Jokaisessa pisteessä, jossa säde leikkaa korkearesoluutioisen pinnan, lasketaan korkearesoluutioisen pinnan suuntavektori. Uutta suuntavektoria käytetään matalaresoluutioisen pinnan normaalinä säteen alkamispaikassa. (Pixologic 2005, 84.)

Periaatteessa tämä tapa on kutakuinkin täsmällinen, mutta saattaa jättää pois tärkeitä yksityiskohtia. Suurimpana ongelmana on liittää matala-

resoluutioisen pinnan säteiden alkupisteet vastaaviin korkearesoluutioisen pinnan leikkauspisteisiin. Yhtenä tapana on luoda kaksi erillistä mallia, joilla on samanlaiset perusmuodot, korkea- ja matalaresoluutioiset mallit. Normal map -tekstuurin luomiseksi matalaresoluutioinen malli sovitetaan vastaavan korkearesoluutioisen mallin sisään. Riippuen mitä työkaluja normal map -tekstuurin laskemiseen käytetään, joudutaan ehkä varmistamaan mallien pintojen kiertyneisyyksien olevan identtiset ja että matalaresoluutioisen mallin kaikki osat mahtuvat korkearesoluutioisen mallin sisälle. Monimutkaisten mallien, kuten käsien sormineen, yhtäläisyyksien varmistaminen saattaa olla erittäin vaikeaa. (Pixologic 2005, 84.)

4.5 Normal map -tekniikan käyttö varjostuksen laskennassa

Kappaleen valaistusta laskettaessa normal map -tekniikan avulla lasketaan valaistuksen intensiteetti jokaiselle polygonien pisteille. Laskemalla pistetulo normeeratun valon suuntavektorin ja pinnan normaalivektorin kesken saadaan pisteen intensiteetin arvo: $a \cdot b = |a||b| \cos(a,b)$. Valon normeerattuja suuntavektoreita ei tarvitse laskea kuin kerran. Polygonin kärkipisteistä lasketaan vektori valon paikkaan, jonka jälkeen se normeerataan. Valon normeerattu suuntavektori saadaan interpoloimalla tämä normeerattu vektori. Interpoloimalla normal map -tekstuuriin talletettuja normaalivektoreita saadaan laskettua pinnan normaalivektorit (KUVA 20). Vaikka interpolointi aiheuttaa virheitä vektoreiden pituuksiin, ei sillä ole lopputulokseen huomattavaa vaikutusta. Kappaletta kierrettäessä origonsa ympäri voidaan suorittaa käänteinen kierto valon suuntavektoreille sen sijaan, että sama kierto laskettaisiin kaikille kappaleen normaalivektoreille. (Luoma 2003, 8.)



KUVA 20. Valon intensiteetin laskeminen normaalikartan avulla (Luoma 2003.)

Kuvassa 20 V kuvaa valon paikkaa, $K1$, $K2$ ja $K3$ kuvaavat polygonin kärkipisteitä, $v1$, $v2$ ja $v3$ ovat normeerattuja valon suuntavektoreita, n on normal map -tekstuurista interpoloitu pinnan normaalivektori ja v on interpoloitu valon suuntavektori. Tällöin $\cos(\alpha) = n \cdot v$. Lopputuloksena saadaan normal map -tekstuurin tietojen mukaan laskettua realistiset pinnan varjostukset (KUVA 21). (Luoma 2003, 9.)



KUVA 21. Yksinkertaistettu objekti varjostettuna normal map -tekstuurin avulla

5 CASE: NORMAL MAP -TEKNIIKAN SOVELTAMINEN

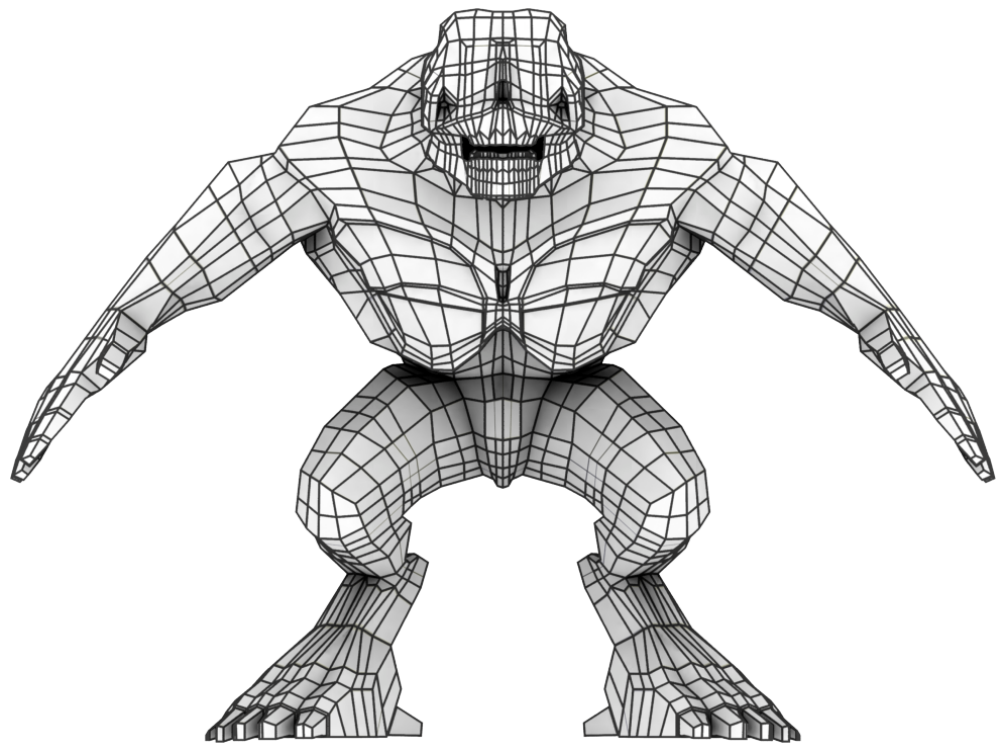
5.1 Case-osion kuvaus

Teoriaosuuden tukemiseksi luodaan virtuaalinen kolmiulotteinen malli, jonka geometriset yksityiskohdat kuvataan normal map -tekniikan avulla. Mallin alhaisen polygonimäärän tulee vastata nykyisten tietokonepelien hahmojen polygonien lukumäärää, jolloin mallin reaaliaikainen tarkastelu on nykyaikaisille laitteille laskennallisesti edullista. Matalaresoluutioisen mallin lisäksi luodaan kolmiulotteinen malli, jossa on runsaasti geometrisia yksityiskohtia ja jonka polygonien lukumäärä nousee useaan miljoonaan. Näin suuren polygonimäärän tarkastelu reaaliaikaisesti on laskennallisesti erittäin raskasta, joten tätä mallia käytetään ainoastaan normal map -tekstuurin luomiseen.

Mallintamiseen, mallien UV-koordinaattien ja normal map -tekstuurien luomiseen sekä valmiin mallin lopputarkasteluun toimivat Autodesk 3ds Max 8 ja Pixologic Zbrush 2 -ohjelmat yhdessä Pixologic-yhtiön luoman lisäosan, ZMapper, kanssa. Vaikka 3ds Max 8 on erittäin kattava mallinnus-, teksturointi-, animointi- ja renderöintiohjelma, on sen heikkoutena suhteellisen raskas grafiikkamoottori. Tällöin mallin polygonimäärän kasvaessa sadastatuhannesta ylöspäin hidastuu ruudunpäivitys huomattavasti. Pixologic-yhtiön kehittämä ZBrush 2 -mallinnusohjelma on suunniteltu erityisesti yksityiskohtaisten objektien mallintamiseen, joten sen käyttämä tekniikka ruudunpäivitykseen on optimoitu tarkastelemaan reaaliaikaisesti objektia, joka koostuu useasta miljoonasta polygonista. ZBrush 2 -ohjelma tarjoaa kattavat työkalut virtuaaliseen kuvanveistoon sekä geometrinen tekstuurien, kuten normal map tai displacement map -tekstuurien luomiseen. Näiden ominaisuuksiensa takia ZBrush 2 on oivallinen valinta korkearesoluutioisen mallin sekä normal map -tekstuurin luomiseen. Matalaresoluutioisen objektin mallinnus sekä sen lopputarkastelu tehdään 3ds max 8 -ohjelmalla, koska mahdollinen mallin muiden ominaisuuksien määrittely, esimerkiksi tietokonepeliin viemistä varten, on mahdollista.

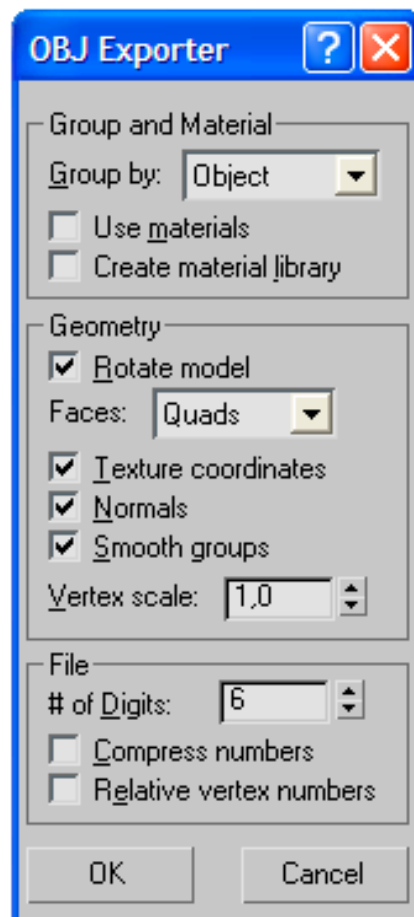
5.2 Matalaresoluutioisen mallin luonti

Mallinnuksessa tulee ottaa huomioon ohjelmistojen asettamat vaatimukset mallin geometrialle, jotta matalaresoluutioinen malli voidaan viedä 3ds Max -ohjelmasta export-toiminnolla ZBrush-ohjelmaan. ZBrush-ohjelma vaatii muokattavan objektin koostuvan nelisivuisista polygoneista, jolloin sen polygonimäärää voidaan kasvattaa yksityiskohtien lisäämiseksi (KUVA 22). Lisäksi objektin origo asetetaan kohdakkain scene-näkymän origon kanssa. Näin vältetään mahdollinen mallin koordinaatiston origon siirtyminen ohjelmasta toiseen viemisen yhteydessä.



KUVA 22. Objekti koostuu nelisivuisista polygoneista

Tiedostoformaatiksi valitaan export-toiminnossa molempien ohjelmien tuema, avointa lähdekoodia käyttävä obj-tiedostomuoto. Export-asetuksista tulee varmistaa, että malli siirtyy säilyttäen nelisivuiset polygonit valitsemalla *Faces: valinnoista Quads* (KUVA 23). Mahdolliset määritetyt UV-koordinaatit voidaan tallentaa obj-formaatin mukana valitsemalla oikea kohta export-asetuksista. Tässä tapauksessa UV-koordinaatit määritetään ZBrush-ohjelmassa.



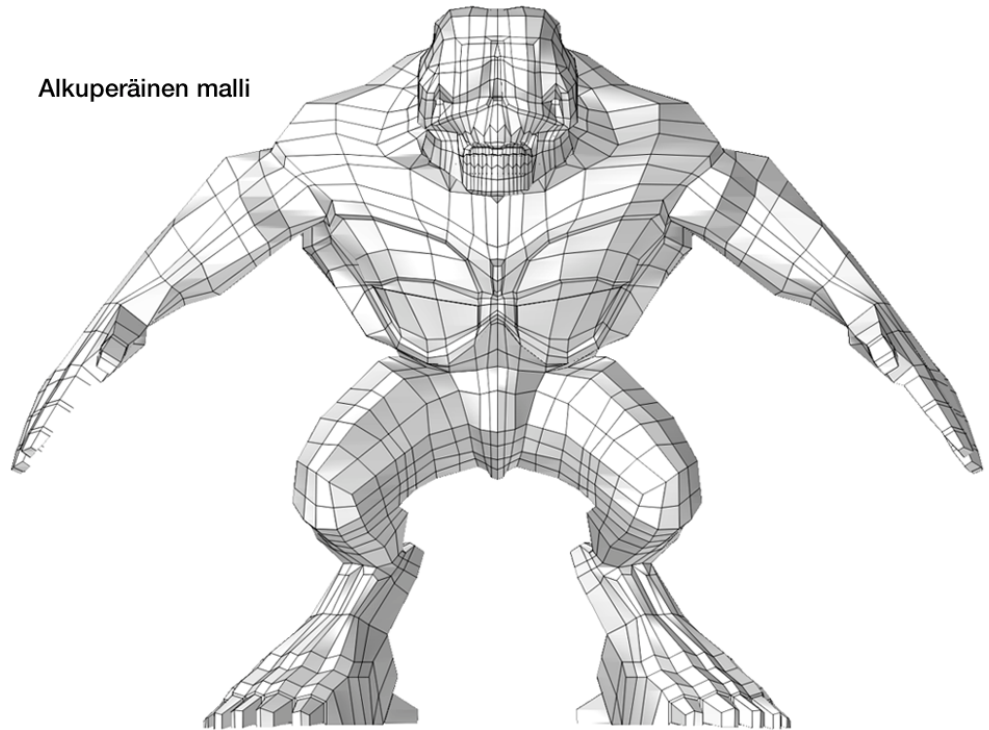
KUVA 23. Export-toiminnon asetukset

5.3 Korkearesoluutioisen mallin luonti

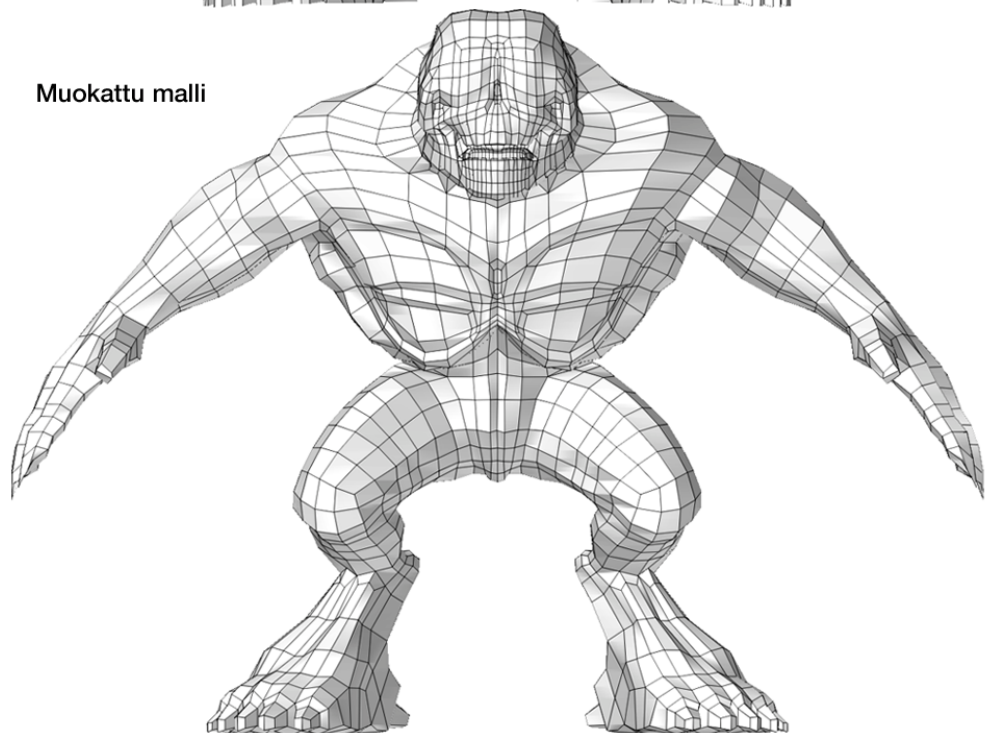
Korkearesoluutioinen malli luodaan muokkaamalla matalaresoluutioisen mallin geometriaa ZBrush-ohjelmassa. Mallin polygonimäärä kasvatetaan noin tuhatkertaiseksi tarvittavien yksityiskohtien luomiseksi. ZBrush-ohjelmassa mallintaminen tapahtuu eri vaiheissa. Vaiheittain mallin resoluutio moninkertaistetaan jakamalla jokainen polygoni neljään osaan. Seuraavassa vaiheessa jokainen uusi polygoni jaetaan edelleen neljään osaan. Näin jatketaan kunnes tarpeeksi hienojakoinen polygonijoukko saavutetaan. Jokaisen eri vaiheen polygonimäärää vastaava malli tallentuu tiedostoon, jolloin mallin muokattavuus paranee. Jonkin vaiheen mallin geometrian muokkaaminen vaikuttaa kaikkiin muihin eri tasojen mallien geometrioihin, jolloin taataan matalaresoluutioisen mallin geometrian vastaavan mahdollisimman paljon korkearesoluutioista mallia sekä päinvastoin: tarpeen vaatiessa voidaan aina palata vaiheissa taaksepäin muok-

kaamaan mallin perusgeometriaa hävittämättä hienojakoisemman mallin yksityiskohtia. Mallinnusprosessissa alkuperäisen, matalaresoluutioisen mallin geometria muuttuu hieman alkuperäisen objektin geometriasta (KUVA 24).

Alkuperäinen malli



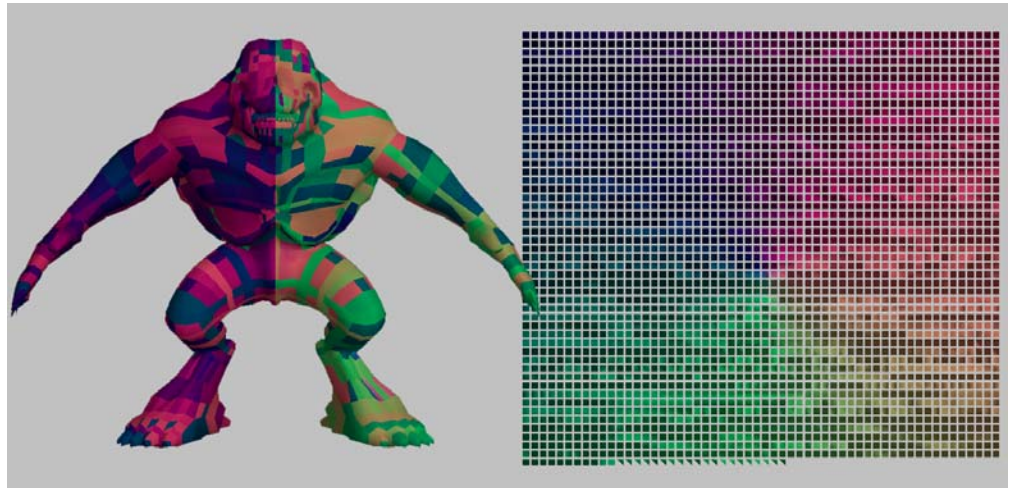
Muokattu malli



KUVA 24. Matalaresoluutioisen mallin geometrian muutos

5.4 Normal map -tekstuurin luonti

Normal map -tekstuuri luodaan ZBrush-ohjelman ZMapper-lisäosalla. Jotta luotavaan normal map -tekstuuriin saadaan talletettua mahdollisimman paljon tietoa korkearesoluutioisen mallin normaaleista, jaetaan polygonien UV-koordinaatit tekstuuriin mahdollisimman tasaisesti (KUVA 25).



KUVA 25. UV-koordinaattien jakautuminen

Luotavan tekstuurin kooksi valitaan 2048 x 2048 pikseliä, jolloin tekstuurin pikselilukumäärä on lähimpänä korkearesoluutioisen mallin polygonien lukumäärää: 2893824. ZMapper lisäosasta löytyy valmiit asetukset 3ds Max -ohjelmalle luotavalle normal map -tekstuurille, joka määrittää tarvittavan tekstuurin peilaamisen ja vihreän kanavan muunnoksen (KUVA 26). Tekstuuri luodaan animoitavalle kappaleelle, joten se tehdään käyttäen tangent space -tulkintaa.



KUVA 26. ZMapper-asetukset

5.5 Lopputuloksen tarkastelu

Luotu normal map -tekstuuri talletetaan käyttäen häviötöntä PSD-tiedostomuotoa jolloin taataan, ettei kuvan pakkaustekniikan vuoksi tekstuurista häviä yksityiskohtia. Jos luotu objekti ja sen normal map -tekstuuri viedään johonkin tietokonepeliin, pakataan tekstuuri ja talletetaan sopivaan tiedostomuotoon kuvankäsittelyohjelmalla. Tässä tapauksessa se ei kuitenkaan ole tarpeen, sillä lopputarkastelu tehdään 3ds Max -ohjelmalla, joka tukee suoraan PSD-kuvatiedostomuotoa.

Koska matalaresoluutioisen mallin geometria päivittyy vastaamaan korkearesoluutioista mallia, viedään matalaresoluutioinen malli export-toiminnolla takaisin 3ds Max 8 -ohjelmaan obj-formaatissa. Korkearesoluutioista mallia ei voida järjestelmän muistin vähyyden vuoksi viedä export-toiminnolla, joten sitä ei saada mukaan vertailtavaksi 3ds Max -ohjelmaan. Lopputarkastelua varten renderöidään normal map -tekniikkaa käyttävästä matalaresoluutioisesta mallista esilasketut kuvat Mental Ray -renderöijällä sekä otetaan kuvia ruudunkaappauksella reaaliaikaisesta renderöinnistä käyttäen DirectX 9 -rajapintaa (KUVAT 27-30). Lopputulos on odotetun kaltainen: alkuperäisen mallin geometriaa pystytään vähentämään tuhannesosaan alkuperäisestä, ilman visuaalisen ilmeen huomattavaa muutosta.



KUVA 27. Lopputuloksen tarkastelu



KUVA 28. Lopputuloksen tarkastelu



KUVA 29. Lopputuloksen tarkastelu



KUVA 30. Lopputuloksen tarkastelu

6 YHTEENVETO

Virtuaalisen kolmiulotteisen mallin esittämisessä tulee aina huomioida polygonien lukumäärä. Yksityiskohtien kasvaessa mallista tulee helposti laskennallisesti liian raskas esitettäväksi. Varsinkin reaaliaikaisten renderöintisovellusten kohdalla joudutaan usein yksinkertaistamaan tarkasteltavien mallien geometrioita huomattavasti.

Lähes kaikki nykyaikaiset mallinnusohjelmat tukevat suoraan normal map -tekstuurin luontia, jolloin käytännössä geometrinen yksityiskohtien tallentaminen normal map -teksturiin on yksinkertainen prosessi. Mallinuvaiheessa mallin polygonimäärästä ei tarvitse huolehtia, jolloin saadaan täysi ilmaisullinen vapaus mallin geometrisuudelle. Hankalinta on luoda sellainen yksinkertaistettu malli, jonka geometrinen muoto vastaa mahdollisimman paljon korkearesoluutioista mallia, josta normal map -teksturi luodaan. ZBrush-ohjelmassa matalaresoluutioinen malli luodaan ensin, josta muovataan lopullinen, yksityiskohtainen malli. Tämä yksinkertainen malli tallentuu ohjelman luomaan tiedostoon ja on näin ollen muokattavissa koko mallinnusprosessin ajan. Ensiksi luotu matalaresoluutioinen malli voi olla aluksi geometrisesti viitteellinen, sillä muokattaessa lopullista mallia päivittyy matalaresoluutioisen mallin geometria vastaamaan korkearesoluutioista mallia. Visuaalinen ilme pysyy näin ollen lähes muuttumattomana alkuperäisen mallin yksinkertaistamisessa, kun käytetään normal map -tekniikkaa.

Normal map -tekniikan käyttämät tangent space ja object space normal map -tekstuurit ovat tavallisia kaksiulotteisia kuvia, joissa eri väreillä tulkitaan pintanormaalien vektorisuuntia. Normal map -tekniikan etuna on, että se käyttää määrittelyyn suuntavektoreita, jolloin pituuden yksiköiden sovittelua ei tarvitse tehdä viedessä tekstureja sovelluksesta toiseen.

Object space normal map -tulkinta sopii malleille, joiden muoto pysyy muuttumattomana. Tekstuurin pikselin osoittama suunta määritellään objektin koordinaatiston mukaan. Kyseinen tulkinta on omiaan kiinteille kappaleille.

Tangent space normal map -tulkinta sopii kiinteiden kappaleiden lisäksi myös malleille joiden muotoa muutetaan. Pikselin osoittama suunta suh-

teutetaan sen polygonin pinnan suunnan mukaan, jonka normaalia poik-
keutetaan. Laskennallisesti tangent space -tulkinta vaatii enemmän suori-
tustehoa kuin object space -tulkinta. Näin ollen suunniteltaessa useam-
man objektin omaavan virtuaalisen maailman tarkastelua, tulee kappale-
kohtaisesti kiinnittää huomiota oikean tulkinnan valintaan.

LÄHTEET

Sähköiset lähteet

Cohen J., Manocha D., Olano M. Appearance-Preserving Simplification [verkkodokumentti]. University of North Carolina at Chapel Hill, [viitattu 13.11.2006]. Saatavissa: <http://www.cs.unc.edu/~geom/APS/APS.pdf>

Discreet 3ds max, A Quick Guide to Normal Mapping in 3ds max 7 [verkkodokumentti]. [viitattu 3.3.2007]. Saatavissa: http://www.msmiami.com/custom/downloads/3Ds7_Mapping.pdf

Heidrich W., Seidel H. Realistic, Hardware-accelerated Shading and Lighting [verkkodokumentti]. Max-Planck-Institute for Computer Science. [viitattu 14.2.2007]. Saatavissa: <http://www.cs.ubc.ca/~heidrich/Papers/Siggraph.99.pdf>

Kreuzer J. Object Space Normal Mapping with Skeletal Animation Tutorial [verkkodokumentti]. 2002 [viitattu 8.1.2007]. Saatavissa: <http://www.3dkingdoms.com/tutorial.htm>

Luoma J. Yksinkertaistaminen normaalitekstuureiksi [verkkodokumentti]. 2003 [viitattu 7.1.2007]. Saatavissa: <http://www.tml.tkk.fi/Opinnot/Tik-111.500/2003/paperit/JarkkoLuoma.pdf>

Pixologic, Normal Mapping with ZBrush and ZMapper [verkkodokumentti]. 2005 [viitattu 10.11.2006]. Saatavissa: http://206.145.80.237/zbrush/zbcfiles/ZMapper_Doc.zip

Policarpo F., Oliveira M., Comba J. Real-Time Relief Mapping on Arbitrary Polygonal Surfaces [verkkodokumentti]. 2005 [viitattu 13.11.2006]. Saatavissa: http://www.inf.ufrgs.br/%7Eoliveira/pubs_files/Policarpo_Oliveira_Comba_RTRM_I3D_2005.pdf

Kuvalähteet

KUVA 2. Epic Games, Gears of War™ [verkkodokumentti]. 2006 [viitattu 15.3.2007]. Saatavissa: http://www.earthli.com/news/attachments/entry/1287/gears_of_war.jpeg

KUVA 3, 14-15. Luoma J. Yksinkertaistaminen normaalitekstuureiksi [verkkodokumentti]. 2003 [viitattu 7.1.2007]. Saatavissa: <http://www.tml.tkk.fi/Opinnot/Tik-11.500/2003/paperit/JarkkoLuoma.pdf>

KUVA 6-8, 10-11, 16-19. Pixologic, Normal Mapping with ZBrush and ZMapper [verkkodokumentti]. 2005 [viitattu 10.11.2006]. Saatavissa: http://206.145.80.237/zbrush/zbcfiles/ZMapper_Doc.zip

LIITTEET

CD-levy, jolla on kopiot kaikista käytetyistä verkkodokumenteista sekä työ PDF-tiedostomuodossa ja tiivistelmät DOC-tiedostomuodossa. Lisäksi CD-levyllä on case-osioon luotu kolmiulotteinen malli.