

3D-animaation toteutus peliohjelmoinnissa

Natalia Tuulos

Helsinki 12.03.2013

Seminaari: Ohjelmistojärjestelmien linjan pro gradu -seminaari

HELSINGIN YLIOPISTO

Tietojenkäsittelytieteen laitos

Tiedekunta – Fakultet – Faculty		Laitos – Institution – Department	
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Tietojenkäsittelytieteen laitos	
Tekijä – Författare – Author			
Natalia Tuulos			
Työn nimi – Arbetets titel – Title			
3D-animaation toteutus peliohjelmoinnissa			
Oppiaine – Läroämne – Subject			
Tietojenkäsittelytiede			
Työn laji – Arbetets art – Level	Aika – Datum – Month and year	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages	
Seminaarityö	12.03.2013	19 sivua	
Tiivistelmä – Referat – Abstract			
<p>Animaatiotekniikat tarjoavat tehokkaita menetelmiä hahmojen ja jäykkien kappaleiden animoimiseen. Tässä työssä käydään läpi yleisemmät 3D-animaatiotekniikat unohtamatta muita edeltäneitä tekniikoita. Lisäksi tutustutaan liikkeentallennustekniikoihin ja luurankomalliin, joka on yleisin animaatiomenetelmä nykypeleissä. Tämän tutkielman tarkoituksena on esitellä yleisimpiä 3D-animaatiotekniikoita ja menetelmiä, tutustua peli- ja animaatiojärjestelmän arkkitehtuuriin ja myös 3D-animaation toteutukseen pelimootorissa.</p> <p>ACM Computing Classification System (CCS): I.1.3 [Computer Graphics], I.3.7 [Three-Dimensional Graphics and Realism].</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords			
Animaatiotekniikka, luurankomalli, liikkeentallennustekniikka, kolmiulotteinen malli.			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

Sisältö

1	Johdanto	1
2	Kolmiulotteinen malli.....	2
3	Animaatiojärjestelmät.....	3
3.1	Animaatiotekniikat	3
3.1.1	Bittikartta-animaatio.....	3
3.1.2	Jäykkä hierarkkinen animaatio.....	4
3.1.3	Kulmapisteanimaatio.....	5
3.1.4	Muotoa modifioiva animaatio	5
3.1.5	Pinnoitettu luurankoanimaatio.....	6
3.2	Luurankomalli	7
3.2.1	Luurankomallin hierarkia	7
3.2.2	Luurankomallin asennot	8
3.2.3	Suora ja käännteinen kinematiikka.....	8
3.2.4	Luurankomallin pinnoitusmenetelmät.....	9
3.3	Animaatioleikkeet.....	10
3.4	Animaatioiden sekoittaminen.....	10
3.5	Proseduraalinen animaatio.....	11
3.6	Liikkeentallennustekniikat.....	11
3.6.1	Mekaaninen liikkeentallennus.....	12
3.6.2	Optinen liikkeentallennus.....	12
3.6.3	Magneettinen liikkeentallennus.....	13
3.6.4	Liikkeentallennustekniikan käyttö peleissä.....	15
3.7	Animaatiojärjestelmän arkkitehtuuri	15
3.7.1	Animaatioliukuhihna	15
3.7.2	Toimintatilakone.....	17
3.7.3	Animaatio-ohjaimet.....	18
	Lähteet	19

1 *Johdanto*

Suurin osa nykyaikaisista 3D-peleistä keskittyy hahmoihin, jotka ovat usein ihmisiä tai humanoideja ja joskus eläimiä tai avaruusolentoja. Hahmojen ainutlaatuisuus ja uskottavuus asettavat paljon uusia teknisiä haasteita. Lisäksi peleissä tarvitaan jäykkien kappaleiden kuten ajoneuvojen, ammuksien ja muiden kappaleiden simulointia ja animointia. Tietokonepelit hyödyntävät huippuunsa kehitettyjä tietokonegrafiikan tekniikoita ja samalla merkittävästi motivoivat tietokoneanimaation kehittämistä. Animaatiotekniikat tarjoavat pelikehittäjille tehokkaita menetelmiä sulavan ja luonnollisen näköisen liikkeen luomiseen [Gre09, s. 491].

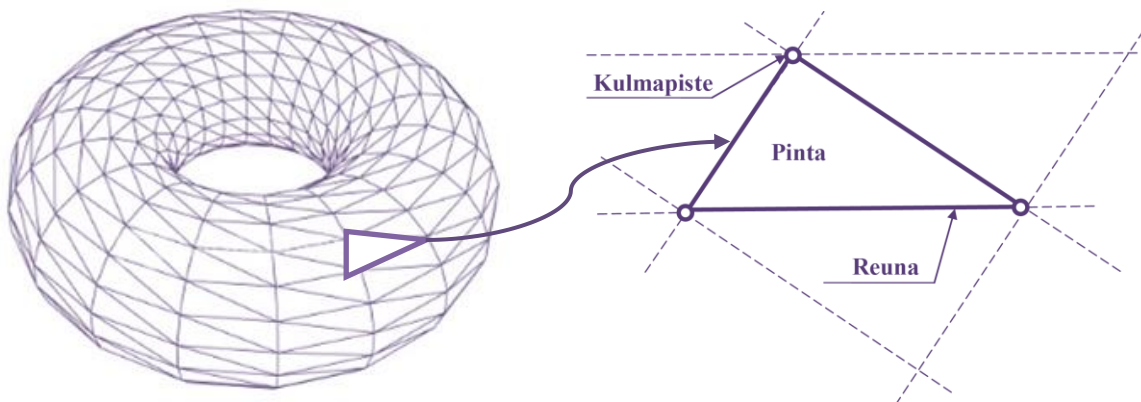
Peleissä käytettävien resurssien, kuten mallien, tekstuurien, materiaalien, äänitehosteiden, animaatioiden ja ynnä muiden, tuottamiseen ja käsittelyyn tarvitaan sisältöliukuhinna (content pipeline). Sisältöliukuhinna on polku, jota kaikki pelissä käytettävät resurssit käyvät läpi vaihe vaiheelta suunnitteluvaiheesta varsinaiseen peliin. Sisältöliukuhinna on olennainen osa pelien kehitysympäristöä. Peliresurssien kehittäminen ja muokkaus vaatii liukuhinnan jatkuvaa käyttöä kehityksen kuluessa. Sisältöliukuhinnan rakenteessa ja toteutuksessa tarvitaan usein pelimoottorikohtaisia ratkaisuja. Korkeatasoisen pelin on tarjottava ensiluokkaista sisältöä, ja sen takia sisältöliukuhinnan on optimoitava niin, että taiteilijat ja suunnittelijat voivat luoda, esikatsella, lisätä ja muokata uutta sisältöä helposti ja nopeasti. Sisältöliukuhinna voi ratkaista minkä tahansa pelikehityksen kohtalon.

Tämän tutkielman tarkoituksena on esitellä yleisimpiä 3D-animaatiotekniikoita ja menetelmiä, tutustua peli- ja animaatiojärjestelmän arkkitehtuuriin ja myös 3D-animaation toteutukseen pelimoottorissa. Tutkielmassa vertaillaan käytännössä kahta erilaista 3D-pelimoottoria, jotka ovat UDK (Unreal Development Kit) ja Unity3D. Nämä pelimoottorit tarjoavat ilmaisia versioita ja myös ovat suosittuja valintoja riippumattomien pelikehittäjien, opiskelijoiden ja harrastelijoiden joukossa. Tutkielmassa kuvataan esimerkkimoottorien valmiit kehitystyökalut ja 3D-animaatioiden toteutukseen tarvittavat työvaiheet ja tekniikat. Tutkielman konstruktiivisena osana laaditaan 3D-animaatioiden kokeiluun tarvittavat animaatiokomponentit ja testiohjelmat käyttämällä valittuja esimerkkimoottoreita. Tutkielman loppuosassa esitetään vertailuanalyysi, jossa vertaillaan esimerkkimoottoreita niiden tarjoamien animaatiotyökalujen suhteen.

2 Kolmiulotteinen malli

Mallien piirtämisessä käytetään usein monikulmioista rakennettuja pintoja, vaikka mallien alkuperäinen muoto olisikin kaareva. Tämä johtuu siitä, että monikulmioiden piirtäminen on helpompaa ja nopeampaa. Edellä mainittu pätee erityisesti reaaliaikaisessa animaatiossa [Puh08, s. 50].

Kolmiulotteinen malli muodostuu yleisesti monikulmioverkoista (mesh) lyhyemmin verkoista, jotka kuvaavat mallin muotoa. Verkko, jonka tyypillinen peruselementti on kolmio tai muu monikulmio, koostuu kulmapisteiden (vertex), reunojen (edge) ja pintojen (face) kokoelmasta (kuva 1). Mallin verkkoa varten määritellään joukko kulmapisteitä. Pinta syntyy suljetusta joukosta reunoja, joita muodostetaan yhdistämällä määritellyt kulmapisteet. Saaduista pinoista rakennetaan malli. Mitä tiheämpi mallin verkko on, sitä yksityiskohtaisempia muotoja malli voi saada. Mallin muotoa voidaan muotoilla liikuttamalla verkon kulmapisteitä joko yksittäin tai ryhmänä.



Kuva 1: Monikulmioverkko.

3 *Animaatiojärjestelmät*

3.1 *Animaatiotekniikat*

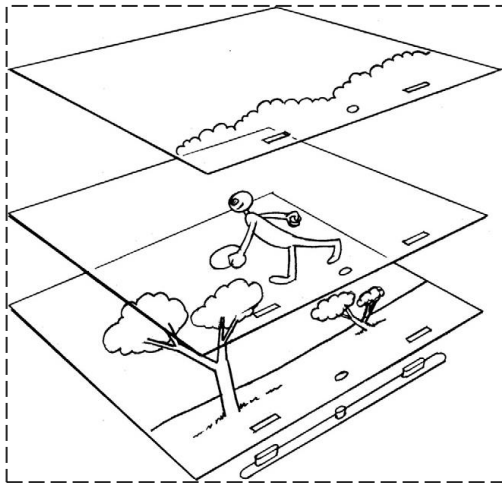
Peleissä käytettävät animaatiotekniikat voidaan jakaa viiteen perustyyppiin: bittikartta-animaatio (sprite), jäykkä hierarkkinen animaatio (rigid hierarchy), luurankomallin animaatio (skeletal), kulmapisteanimaatio (vertex/per-vertex) ja muotoa modifioiva animaatio (morph targets).

Riippumatta siitä, mitä tekniikkaa käytetään animaation tuottamisessa, jokainen animoidun hahmon liike tapahtuu ajan kuluessa. Liikkeen todellisuusvaikutelma luodaan tallentamalla hahmon vartaloasennon pieniä muutoksia peräkkäisiksi kuviksi ja näyttämällä kuvia tiheässä tahdissa, tavallisesti 30 tai 60 kuvaa sekunnissa [Gre09, s.42].

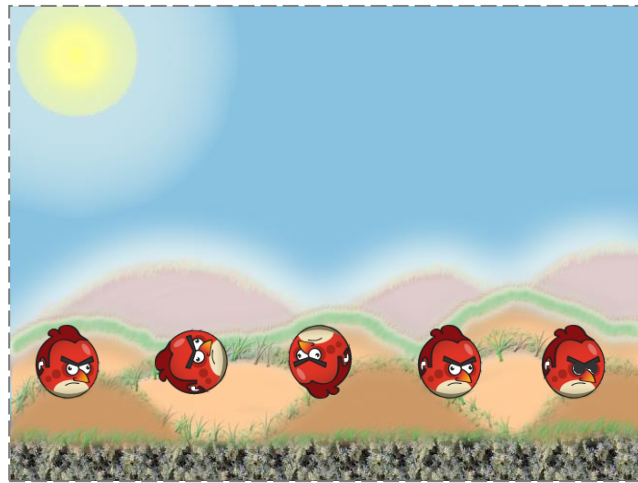
3.1.1 *Bittikartta-animaatio*

Kaikkien pelianimaatiotekniikoiden edeltäjää kutsutaan perinteiseksi animaatioksi tai käsin piirretyksi animaatioksi. Tätä tekniikkaa käytettiin varhaisimmissa piirroselokuvissa, joissa luotiin liikkeen todellisuusvaikutelma näyttämällä kuvia tiheässä tahdissa. Reaaliaikaista 3D-esitystä voidaan ajatella perinteisen animaation sähköisenä muotona, koska edelleen liikkeen todellisuusvaikutelmaa luodaan käyttämällä staattisia kuvia. Kalvoanimaatio (cel animation) on perinteisen animaation erityinen tyyppi. Kalvo on tehty läpinäkyvästä muovista (kuva 2), jolle piirretään tai maalataan hahmoja. Animoitujen kalvojen sarja voidaan asettaa piirretyn tai maalatun kiinteän taustan päälle, jota pystytään käyttämään uudelleen ja uudelleen.

Kalvoanimaation sähköinen vastine on teknologia nimeltä bittikartta-animaatio (kuva 3). Bittikarttagrafiikka muodostuu yksittäisistä kuvapisteistä. Hahmot ovat usein piirretty erikoistuneen grafiikkalaitteiston avulla läpinäkyvälle tasolle, joten niitä voidaan käyttää valmiiksi tehdyn taustan päällä. Kuvien sarja suunnitellaan niin, että animointi on tasaista, jopa silloin kun sitä toistetaan silmukassa [Gre09, s.492].



Kuva 2: Kalvoanimaatio [Rob11, s. 8].



Kuva 3: Bittikartta-animaatio.

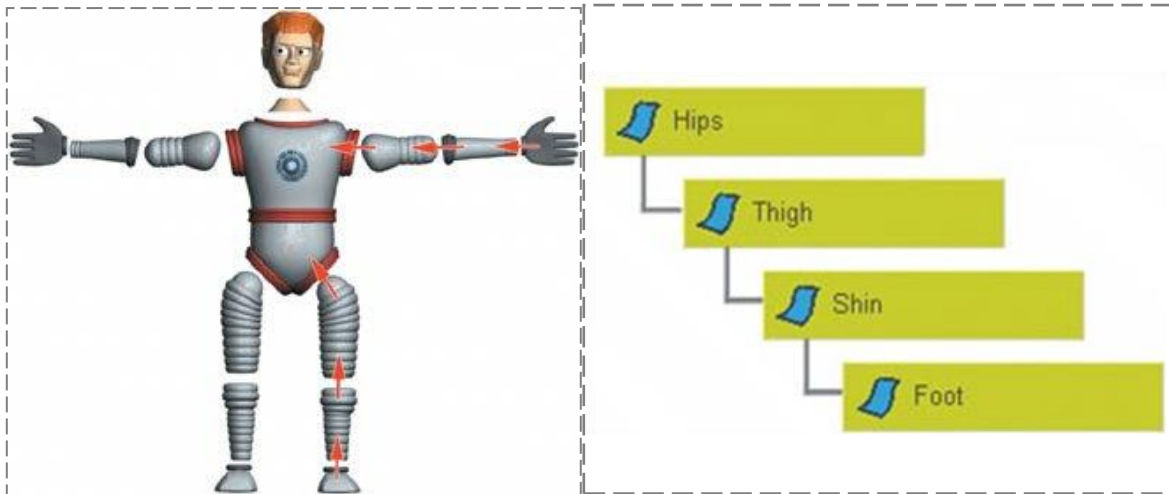
3.1.2 Jäykkä hierarkkinen animaatio

3D-grafiikan kynnyksellä bittikarttatekniikan suosio alkoi hiipua. Tämä tekniikka on edelleen käytössä matalaa resoluutiota vaativissa animoinnissa tai esiteltäessä etäisiä kohteita, kuten esimerkiksi väkijoukkoa stadionilla tai taustalla taistelevia sotilaita. Tasokkaita etualan hahmoja varten 3D-grafiikka on tuonut mukanaan parantuneita animaatiomenetelmiä. Varhaisin niistä on tekniikka nimeltä jäykkä hierarkkinen animaatio. Tässä animaatiotekniikassa hahmoja mallinnetaan jäykkien kappaleiden kokoelmana (kuva 4). Humanoidihahmoa varten tyypillinen osiin jako voi olla lantio, vartalo, olkavarret, kyynärvarret, reidet, sääret, kädet, jalat ja pää. Jäykkien kappaleiden liikkeitä rajoitetaan hierarkkisesti, eli samalla tavalla kuin nisäkkään luut on liitetty nivelistä. Hierarkkinen rakenne kertoo tietokoneelle, missä järjestyksessä hahmon osat tulee koota.

Tämä tekniikka mahdollistaa hahmon luontevaa liikkumista. Esimerkiksi kun olkavartta liikutetaan, kyynärvarsi ja käsi automaattisesti seuraavat sitä. Tyypillisesti lantio on juuressa; vartalo ja reidet ovat sen lapsia. Identtisiä hahmon osia tarvitsee mallintaa vain kerran. Esimerkiksi jos robotin molemmat kädet ovat täysin identtiset, voidaan käsi sijoittaa hierarkiaan vain kerran [Puh08, s. 428].

Suuri ongelma jäykässä hierarkiatekniikassa on se, että hahmon vartalon käyttäytyminen ei ole usein kovin miellyttävä liitoksissa olevien ”halkeilujen” takia. Tämän tyyppinen animaatio toimii hyvin robottien ja koneiden kanssa, jotka oikeasti konstruoidaan jäykistä

kappaleista, mutta se toimii huonosti, kun sitä sovelletaan muunlaisiin hahmoihin [Gre09, s.492–494].



Kuva 4: Jäykkä hierarkkinen malli [Mae06 s. 66].

3.1.3 Kulmapisteanimaatio

Jäykkä hierarkkinen animaatio näyttää epäluonnolliselta jäykkyyden vuoksi. Yksi tapa, jolla voidaan saavuttaa luonnollisemman näköistä liikettä, on käyttää raa'an voiman (brute-force) tekniikkaa nimeltä kulmapisteanimaatio. Tässä tekniikassa talletetaan tiedot animoidun verkon kaikista kulmapisteistä ja niiden liikkeistä. Näiden tietojen avulla pelimoottori tietää, miten siirretään kutakin kulmapistettä suoritusaikana. Tällä tavalla voidaan generoida minkä tahansa verkon kuviteltu muodonmuutos. Se on kuitenkin tietointensiivinen tekniikka, koska ajassa muuttuva liikkeen tieto täytyy tallettaa jokaista verkon kulmapistettä varten. Tästä syystä kulmapisteanimaatio soveltuu huonosti reaaliaikaisiin peleihin [Gre09, s.494].

3.1.4 Muotoa modifioiva animaatio

Muotoa modifioiva animaatio on muunnelma edellisestä tekniikasta. Sitä käytetään joissakin reaaliaikaisissa peleissä. Tässä menettelytavassa määritellään verkon kulmapisteille suhteellisen pieni sarja kiinteitä ääriasentoja (extreme poses). Ääriasentojen välissä olevat väliasennot lasketaan käyttämällä yksinkertaista lineaarista interpolointia (LERP). Interpoloinnilla tarkoitetaan uusien arvojen laskemista jo olemassa olevien ääriarvojen avulla. Animaatiot tuotetaan sekoittamalla kaksi tai useampi kiinteä asento suoritusaikana. Yksinkertaisuuden vuoksi interpolointia on paljon käytetty peleissä, mutta

ongelmaksi tulee muotojen vääristyminen, koska interpolointi ei ota huomioon mallin laajempaa rakennetta [Puh08, s.431]. Muotoa modifioivaa tekniikkaa usein käytetään kasvoanimaatiossa (kuva 5), koska ihmiskasvot ovat erittäin monimutkainen vartalon osa, jota ohjaa suunnilleen 50 lihasta. Kulmapiste- tai muotoa modifioivaa animaatiota käytetään joskus vaihtoehtona luurankomallin animaatiolle [Gre09, s.494].



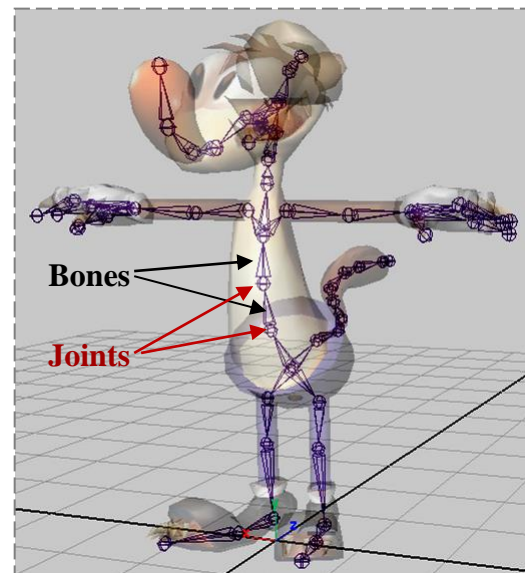
Kuva 5: Kasvoanimaatio.

3.1.5 Pinnoitettu luurankoanimaatio

Pelilaitteiston kapasiteetin parantumisen myötä kehitettiin uusi animaatioteknologia nimeltä pinnoitettu luurankoanimaatio (skinned animation). Sellaiset pelit kuten Super Mario 64 (kuva 6) käyttivät ensimmäisenä pinnoitettua animaatiota, ja se on edelleen yleisin tekniikka, jota käytetään nykyään sekä peli- että elokuvateollisuudessa. Tällä tekniikalla on monia etuja edellisiin tekniikoihin verrattuna. Se mahdollistaa animoidun verkon kolmioiden deformaation ja pystyy generoimaan riittävän realistisia likiarvoja ihon ja vaatekseen liikkeeseen.



Kuva 6: Super Mario 64.



Kuva 7: Luurangon rakenne.

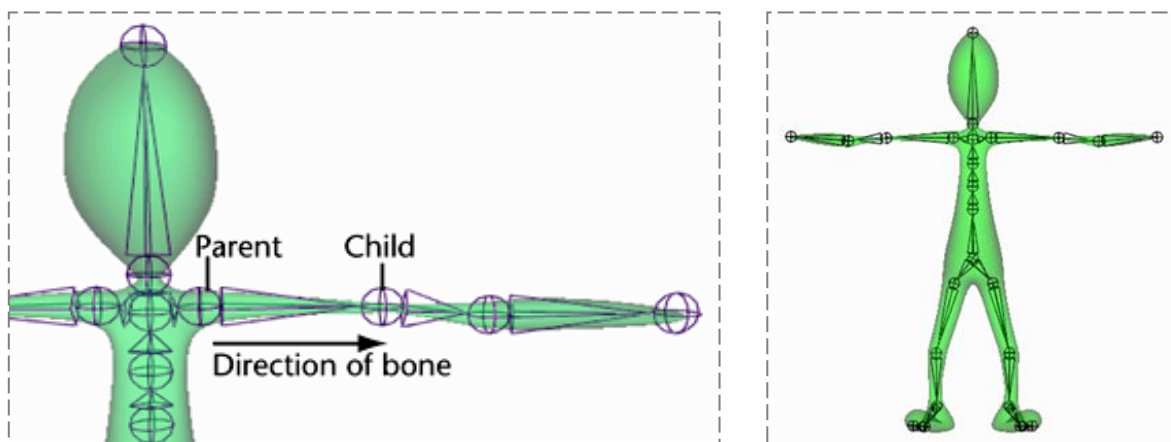
Pinnoitetussa luurankoanimaatiossa luuranko (kuva 7) rakentuu jäykistä "luista" (bones), aivan kuten jäykässä hierarkkisessa animaatiossa. Tasainen venyvä kolmioverkko, jota kutsutaan pinnaksi (skin), on sidottu luurangon liitoksiin. Sen kulmapisteet jäljittävät liitosten liikkeitä. Kukin verkon kulmapiste voi olla painotettu useisiin liitoksiin, jotta pinta voi venyä luonnollisella tavalla silloin, kun liitokset liikkuvat [Gre09, s.495].

3.2 Luurankomalli

Ihmisen tai eläimen animoinnissa saadaan parempia tuloksia käyttämällä hahmon sisällä luurangon kaltaista mallia, joka toimii samaan tapaan kuin oikea luusto. Luurankomalli (skeleton) muodostuu nivelistä ja jäykistä nivelvarsista eli "luista" [Puh08, s. 431]. Samalla tavalla kuin ihmiskehossa, nivelten sijainti ja määrä määrittävät, miten luurangolla rajoitettu hahmo voi liikkua. Nivelvarret ovat vain visuaalisia osia, jotka havainnollistavat nivelten välisiä suhteita. Teknisesti ottaen nivelet ovat objekteja, joita voidaan suoraan manipuloida, ja luut ovat pelkästään tyhjiä kohtia nivelten välissä [Gre09, s. 496].

3.2.1 Luurankomallin hierarkia

Nivelet luurankomallissa muodostavat hierarkian tai puurakenteen (kuva 8). Joku nivelistä valitaan juureksi, ja kaikki muut nivelet ovat sen lapsia, lapsenlapsia ja niin edelleen. Tavallisesti jokaiselle nivelelle määrätään oma indeksi. Koska kullakin nivelellä on vain yksi vanhempi, hierarkkista rakennetta voidaan kuvata tallettamalla jokaiselle nivelelle sen vanhemman indeksi. Luurankomallissa voi olla vain yksi juuri, joka on usein lantio [Gre09, s.497].



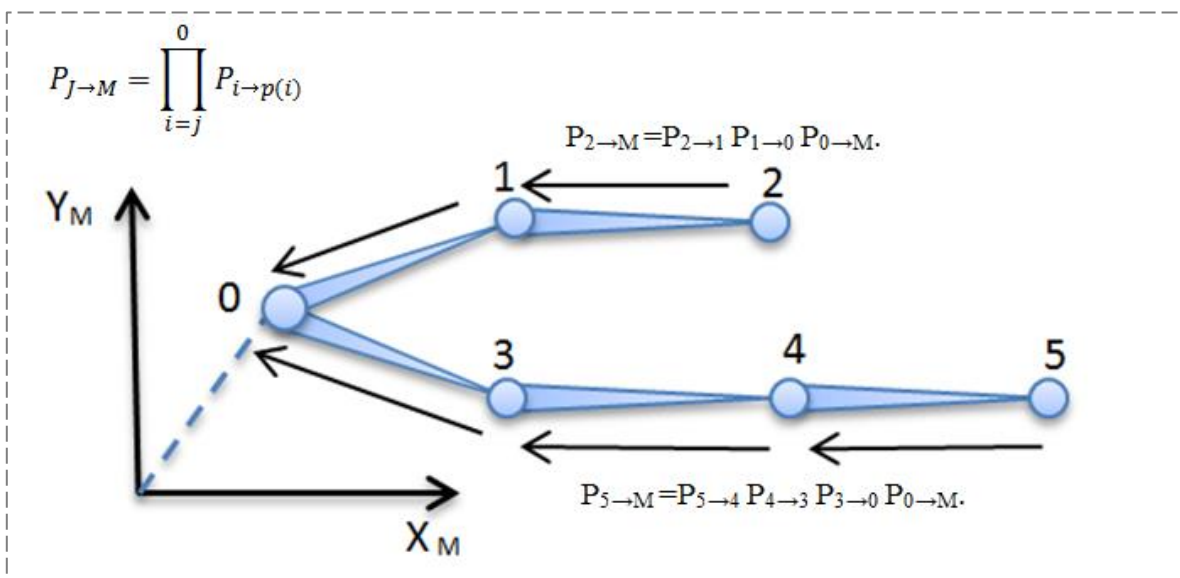
Kuva 8: Luurankomallin rakenne [Aut13].

3.2.2 Luurankomallin asennot

Luurankomallin asento on joukko nivelasentoja, joita esitetään tavallisesti matriiseina tai SQT-tietorakenteina (scale-quaternion-translation). Asentoja luodaan kiertämällä, siirtämällä ja mahdollisesti skaalaamalla niveliä eri tavoilla. Nivelen asento, suunta ja skaala määritellään suhteessa johonkin viitekehykseen.

Perusasento (bind pose) on verkon asento ennen yhdistämistä luurankoon. Tätä asentoa myös kutsutaan T-asennoksi, koska se on tyypillisesti T-kirjaimen muotoinen. Nivelen asento, jota kutsutaan paikalliseksi asennoksi (local pose), on määritelty suhteessa sen vanhempaan.

Nivelen asento, joka on ilmaistu malli- tai maailmankoordinaatistossa, kutsutaan globaaliksi asennoksi (global pose). Jotkut pelimoottorit ilmaisevat globaaleja asentoja matriisimuodossa ja jotkut käyttävät SQT-formaattia. Matemaattisesti nivelen mallikoordinaatiston asento löytyy kulkemalla luurankohierarkiassa kyseisestä nivelestä juureen asti, kuten kuvassa 9, kertomalla paikalliset asennot [Gre09, s. 499-504].



Kuva 9: Globaali asento.

3.2.3 Suora ja käänteinen kinematiikka

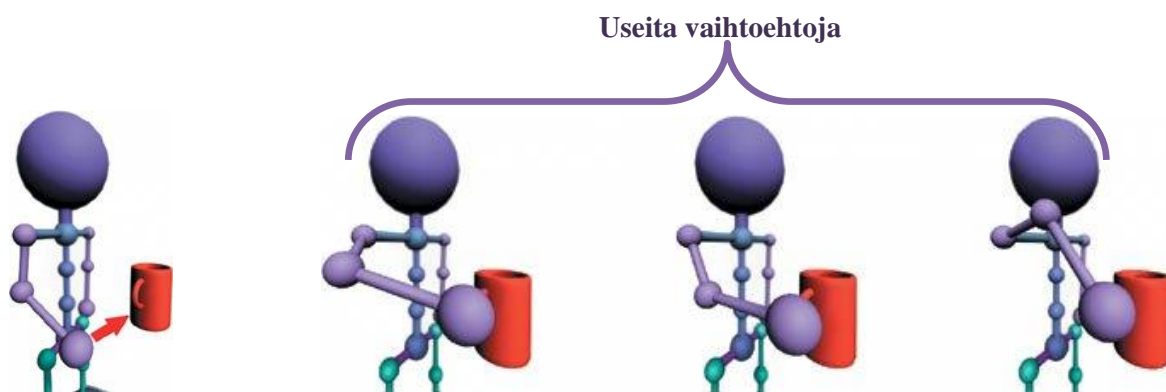
Kinematiikka on järjestelmä, jolla voidaan määritellä luurankomallin liikkeitä. On olemassa kaksi strategiaa hahmon manipulointiin ja animointiin: suora kinematiikka (forward kinematics) ja käänteinen kinematiikka (inverse kinematics). Kukin kinematiikan

tyyppi soveltuu parhaiten tietyn tyyppisiin liikkeisiin. Yksittäisten nivelten liikuttamista varten käytetään suoraa kinematiikkaa. Käänteisellä kinematiikalla tarkoitetaan tilannetta, jossa halutaan määrittellä vain osa hahmon liikkeestä tarkasti ja loppuosa sovitetaan automaattisesti liikkeeseen mukaan [Puh08, s. 432-433]. Seuraava esimerkki selventää, miten käden asettelu riippuu käytettävästä kinematiikasta. Suorassa kinematiikassa käsi asetellaan kiertämällä kaikki nivelet yksitellen olkapäästä sormiin asti, kunnes saavutetaan haluttu asema (kuva 10). Tässä tekniikassa animoija joutuu tarkasti määräämään jokaisen nivelen liikkeen.



Kuva 10: Suora kinematiikka [Mae06 s. 69].

Käänteisessä kinematiikassa hahmon käsi viedään suoraan haluttuun paikkaan, jolloin käsivarren loppuosa automaattisesti muokkautuu sopimaan uuteen asentoon (kuva 11). Tässä tapauksessa animoijan ei tarvitse määrittellä, kuinka kukin nivel liikkuu, vaan ainoastaan kohta, mistä liike alkaa ja mihin se loppuu.

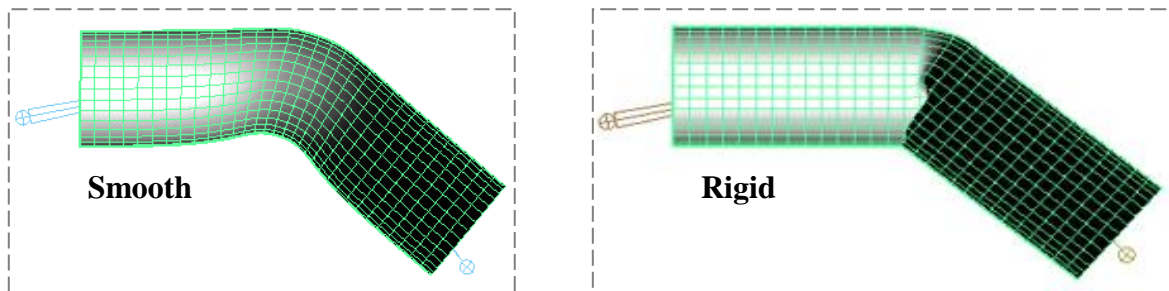


Kuva 11: Käänteinen kinematiikka [Mae06 s. 70].

3.2.4 Luurankomallin pinnoitusmenetelmät

Tyypillisesti luurankomalli halutaan pinnoittaa (skinning) ”iholla”, jotta hahmo saisi luonnollisen näköisen ulkomuodon. Sen tarkoituksena on saada hahmo deformoitumaan,

ihan kuin sen pinnan alla olisi oikeasti lihaksia ja luita. Pinnoitus suoritetaan muokkaamalla nivelten vaikutusalueen laajuutta siten, että ne yltyvät vaikuttamaan niille kuuluviin kulmapisteisiin. Luurankomallin pinnoittamisessa voidaan käyttää erilaisia pinnoitusmenetelmiä. Sileä pinnoitus (smooth) vaatii erilaista rakentamisstrategiaa kuin jäykkä (rigid) pinnoitusmenetelmä (kuva12). Pääero jäykän ja sileän pinnoituksen välillä on se, että jäykässä pinnoituksessa vain yksi nivel voi vaikuttaa tiettyyn kulmapisteeseen, mutta sileässä pinnoituksessa useat nivelet voivat vaikuttaa samaan kulmapisteeseen [Aut13].



Kuva 12: Pinnoitusmenetelmät [Aut13].

3.3 Animaatioleikkeet

Koska peli on vuorovaikutteinen kokemus, on vaikea ennustaa etukäteen hahmojen liikkeitä ja käyttäytymiset. Pelaajan päätökset vaikuttavat paljolti hahmoihin ja myös itse pelikulkuun. Pelianimaatioita ei luoda lähes koskaan pitkinä kuvasarjoina, vaan liike jaetaan moniksi hienorakeisiksi liikkeiksi, eli animaatioleikkeiksi (animation clips) tai lyhyesti animaatioiksi. Jokainen leike saa hahmon suorittamaan yksittäisen hyvin määritellyn toiminnan, esimerkiksi sellaisen kuten kävely, kompastuminen tai hyppy. Mitkä tahansa hahmon liikkeitä jaetaan tyypillisesti tuhansiksi leikkeiksi. Ainoa poikkeus tästä säännöstä voi olla vain silloin, kun hahmot ovat osallisena ei-vuorovaikutteisessa peliosassa, jota tyypillisesti käytetään esittämään pelissä käytettyjä tarinaelementtejä [Gre09, s. 505].

3.4 Animaatioiden sekoittaminen

Termi animaation sekoittaminen (animation blending) tarkoittaa mitä tahansa tekniikkaa, joka mahdollistaa hahmon animointia useammalla animaatioleikkeellä samaan aikaan.

Sekoittaminen yhdistää vähintään kaksi animaatiota luomaan suuren joukon uusia animaatioita. Esimerkiksi sekoittamalla loukkaantuneen hahmon ja terveen hahmon kävelyanimaatiot voidaan kehittää loukkaantumisen erilaiset välitasot. Sekoittamalla animaatiot, joissa toisessa animaatiossa hahmo tähtää vasemmalle ja toisessa oikealle, saadaan hahmo tähtäämään mihin tahansa haluttuun suuntaan kahden ääriasennon välillä. Perinteinen lähestyminen animaatioiden sekoittamiseen muodostuu saumattomasta siirtymisestä toisesta animaatiosta toiseen, esimerkiksi siirtyminen hahmon kävelytyylistä juoksutyylisiin. Sekoittamista voidaan myös käyttää kasvoilmeiden, vartaloasentojen ja liikkumistyyliden ääriasentojen väliseen interpolointiin [Gre09, s. 523].

3.5 Proseduraalinen animaatio

Proseduraalinen animaatio tarkoittaa sääntöjen ja rajoitusten mukaan suoritusajana luotua animaatiota. Säännöt usein perustuvat reaali maailman fyysisille säännöille, joita matemaattiset yhtälöt ilmaisevat. Ennalta määriteltyihin animaatioihin verrattuna, missä määritellään manuaalisesti animaation jokainen kuva ja parametri, proseduraalisen animaation tulos voi olla jossain määrin arvaamaton. Manuaalisissa animaatioissa animoija suoraan valvoo hahmojen sijainteja, muotoja ja liikkeitä, mutta proseduraalisissa animaatioissa animoija antaa vain alkuehdot ja säätää melko abstrakteja fyysisiä parametreja. Parametriarvojen muuttamisesta johtuva vaikutus on usein arvaamaton, minkä vuoksi animoijan täytyy suorittaa simulaatio oikean tuloksen näkemiseksi. Proseduraalista animaatiota voidaan käyttää simuloimaan partikkelijärjestelmiä, kuten savu, tuli, vesi, ja myös kankaita ja vaatteita. [Gre09, s. 543].

3.6 Liikkeentallennustekniikat

Koko ihmisvartalon liikkeen, kuten esimerkiksi kävelyn saaminen luonnollisen näköiseksi on äärimmäisen vaikeaa. Tästä syystä hahmojen animoinnissa käytetään liikkeentallennustekniikkaa (motion capture), jossa tallennetaan ihmisen tai mitä tahansa kohteiden liikkeitä suoraan analyysiä tai siirtokuvia varten. Liikkeentallennustekniikkaa voidaan luokitella kolmeen kategoriaan: mekaaninen, optinen ja magneettinen liikkeentallennus [Mot12, s. 1-2].

3.6.1 Mekaaninen liikkeentallennus

Mekaanisessa liikkeentallennustekniikassa käytetään sensoreista koottua ulkoista tukirankaa (exoskeleton), joka liikkuu ihmisen tekemien liikkeiden mukana (kuva 13). Jokainen nivel on yhdistetty sensoriin, joka tunnistaa nivelissä tapahtuvat liikkeet eli kulmien muutokset. Kaikki liikkeiden arvot tallennetaan tietokoneelle reaaliajassa.



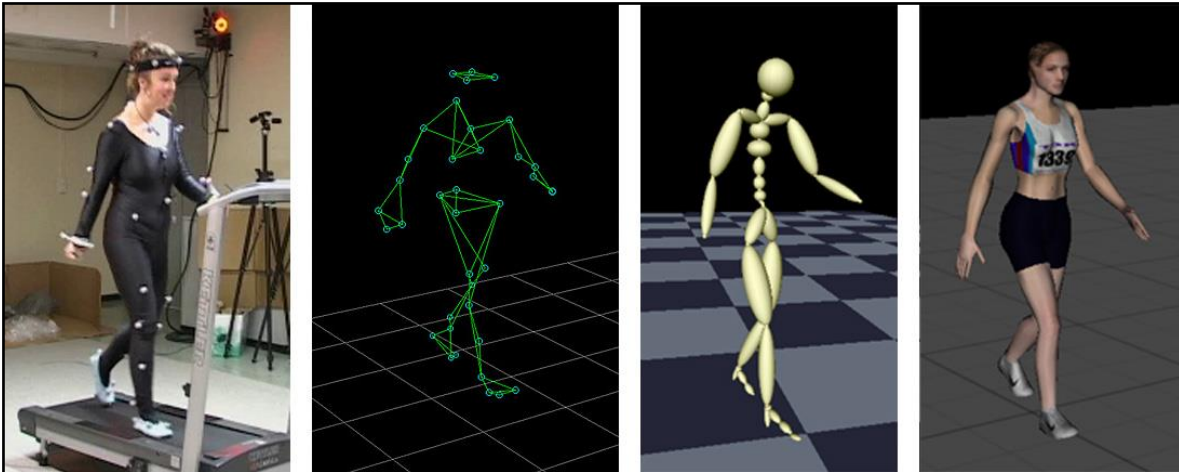
Kuva 13: Ulkoinen tukiranka.

Tämä tekniikka tarjoaa korkeaa tarkkuutta, ja se ei ole riippuvainen ulkoisista tekijöistä, esimerkiksi valaistuksesta. Mutta mekaaniset rajoitukset, jotka liittyvät sensoreihin ja tukirangan käyttöön, rajoittavat liikkumista. Koska liikkeen voi tunnistaa ainoastaan nivelten kiertoliikkeen perusteella, kohteen absoluuttista sijaintia ei tiedetä, ja sen takia on mahdotonta tietää, mihin suuntaan vartalo osoittaa. Myöskään käyttämällä tätä tekniikkaa ei pysty tallentamaan kasvojen ilmeitä, lattialla tehtyjä liikkeitä kuten hyppyjä ja kuperkeikkoja eikä kahden tai useamman ihmisen liikkeiden vuorovaikutusta kuten tanssia tai taistelua [Mot12, s. 2-3].

3.6.2 Optinen liikkeentallennus

Optinen liikkeentallennus on hyvin tarkka menetelmä, mutta sitä ei pystytä käyttämään reaaliaikaisesti, koska optisesti saatu tieto vaatii laajaa jälkikäsittelyä. Tyypillinen optinen liikkeentallennustekniikka perustuu valoa tallentaviin erikoisvideokameroihin sekä

tietokoneeseen, joka prosessoi kameroista saatua tietoa. Käytettävien kameroiden määrä on yleensä vähintään 4 ja enintään 32. Liikkuva kohde, joka on tässä tapauksessa ihminen, pukee päällensä erikoispuvun (kuva 14), jossa käytetään valoa heijastavia tai itsevalaisevia sensoreita (markers). Sensorit, jotka ovat päällystetty heijastavalla aineella, heijastavat takaisin niihin osuvaa valoa. Itsevalaisevat sensorit, jotka ovat yleensä LED-valoja, voivat palaa kaikki yhtä aikaa tai yksi kerrallaan. Tässä tapauksessa voidaan tallentaa koko vartalon tai sen tietyn osan liikkeitä. Kun ihminen liikkuu, kamerat tallentavat jokaisen sensorin liikkeitä. Yhdistämällä näkymät kaikista kameroista kohteen tunnetuisiin dimensioihin voidaan laskea jokaisen kamerasijainnin tarkka sijainti avaruudessa, ja näin ollen muodostaa liikkeestä kolmiulotteinen esitys, joka voidaan sovittaa kolmiulotteiselle hahmolle.



Kuva 14: Optinen liikkeentallennustekniikka.

Optisessa liikkeentallennustekniikassa ei ole mitään liikkeen suorittamista rajoittavia mekaanisia tekijöitä, mutta ongelmia voi esiintyä sensoreiden näkyvyyden kanssa. Liikkuva kohde saattaa peittää osan sensoreista jonkun liikkeen seurauksena. Tämän vuoksi tallennetun liikkeen tarkkuus ja laatu voivat kärsiä. Kameroiden suorituskyky ja ympäristön valaistus myös vaikuttavat tallennustulokseen [PEG10, s. 84-89].

3.6.3 Magneettinen liikkeentallennus

Viihdeteollisuudessa magneettisia liikkeentallennustekniikoita käytetään enimmäkseen reaaliaikaisissa sovelluksissa. Tyypillinen magneettinen liikkeentallennustekniikka koostuu lähettimestä, vastaanottimista, jotka mittaavat spatiaalista suhdetta läheiseen lähettimeen, elektronisesta ohjausyksiköstä ja ohjelmistosta (kuva 15). Vastaanottimet tai sensorit

kiinnitetään erikoispukuun ja yhdistetään elektroniseen ohjausyksikköön useimmiten yksittäisillä kaapeleilla. Magneettiset tekniikat käyttävät vähintään kuutta sensoria ihmistä kohti.



Kuva 15: Magneettinen liikkeentallennustekniikka.

Lähetin generoi matalataajuisen sähkömagneettisen kentän, jonka sensorit havaitsevat ja syöttävät elektroniseen ohjausyksikköön, jossa sitä suodatetaan ja vahvistetaan. Muokattu tieto lähetetään tietokoneeseen, jossa ohjelmisto ratkaisee kunkin sensorin aseman ja suunnan. Saatujen tietojen avulla pystytään muodostamaan luurankomalli, jota voidaan käyttää kolmiulotteisen hahmon liikuttamiseen. Koko prosessi ei oikeastaan tapahdu reaaliajassa, mutta on aika lähellä sitä. Prosessin nopeus riippuu käytettävistä laitteista ja yhteyden nopeudesta ohjausyksikön ja vastaanottavan tietokoneen välillä. Magneettisen tekniikan reaaliaikainen käyttö vaatii tehokkaan tietokonejärjestelmään, joka pystyy muodostamaan suuren määrän monikulmioita reaaliajassa.

Tässä tekniikassa on ongelmia, jotka liittyvät metallien sähkönjohtavuuteen. Metalliset esineet, jotka ovat liikkeentallennusalueella, voivat luoda uuden magneettisen kentän, joka häiritsee alkuperäistä lähettimen tuottamaa magneettikenttää. Magneettiset liikkeentallennustekniikat ovat halvempia kuin optiset, mutta liikkeentallennusalue on pienempi [PEG10, s. 89-92].

3.6.4 Liikkeentallennustekniikan käyttö peleissä

Videopeliteollisuus oli ensimmäinen, joka omaksui liikkeentallennustekniikan vartenotettavana keinona hahmon liikkeen animoimiseen. Tämän tekniikan käyttö alkoi jo silloin, jolloin laitteisto ja ohjelmisto vielä tuottivat heikkolaatuisia tuloksia kalliilla hinnalla. Nykypäivänä lähestulkoon kaikissa peleissä, joissa on realistisen näköisiä pelihahmoja, käytetään liikkeentallennustekniikkaa [PEG10, s 102-103].

Viimeisen kolmen vuosikymmenen aikana videopelit ovat edistyneet nopeasti innovaation, monimutkaisuuden, visualisuuden ja pelattavuuden kannalta. Grafiikka ja erityisesti animaatio ovat muuttuneet entistä monimutkaisemmiksi ja luonteeltaan todenmukaisemmiksi. Myös vaikuttava realismin taso, jota löytyy tämän päivän pelihahmoissa, on huikaa. Suurin osan aitoudesta, jota nähdään nykyaikaisissa pelisankareissa ja sankaritarissa, on saatu käyttämällä liikkeentallennustekniikoita. Ilman näitä tekniikoita hahmojen liikkeet ja ilmaisut sellaisissa peleissä kuten Street Fighter IV, Resident Evil 5, Grand Theft Auto IV, Empire: Total War, Guitar Hero: Metallica eivät olisi läheskään niin yksityiskohtaisesti ja taidokkaasti tehty, kuin ne nykyisin ovat [Meu09].

3.7 Animaatiojärjestelmän arkkitehtuuri

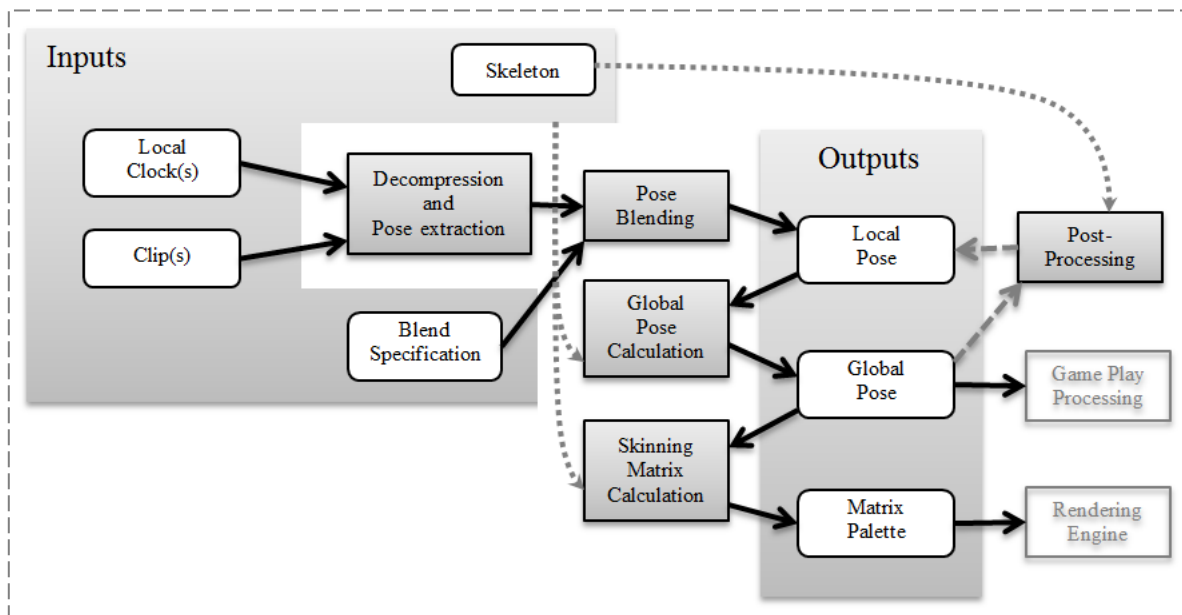
Tässä osassa tutustutaan animaatiojärjestelmän jäsentelyyn ohjelmistoarkkitehtuurin näkökulmasta ja tutkitaan animaatiojärjestelmän ja muiden järjestelmien välillä olevat rajapinnat tyypillisessä pelimoottorissa. Useimmat animaatiojärjestelmät muodostuvat kolmesta erillisestä kerroksesta, jotka ovat animaatioliukuhina (animation pipeline), toimintatilakone (action state machine) ja animaatio-ohjaimet (animation controllers) [Gre09, s. 552].

3.7.1 Animaatioliukuhina

Animaatioliukuhina käsittelee pelissä käytettävät animaatioleikkeet ja niiden sekoittamista keskenään, luo yksittäisen paikallisen luurankoasennon ja myös laskee globaaliasennon ja matriisipaletit luurangon pinnoitusta varten. Yleisesti tässä vaiheessa tarjotaan myös jälkikäsitteleykahvat, jotka mahdollistavat paikallisen asennon muuttamista ennen lopullista globaalia asentoa ja matriisipaletin luontia.

Matalatasoisen animaatiomootorin suorittamat operaatiot muodostavat liukuhihnan (kuva 16), jonka vaiheet ovat animaatioleikkeen purkaminen ja asennon erittely, asentojen sekoittaminen, globaalien asennon luonti, jälkikäsitteily, globaalien asentojen uudelleenlaskenta ja matriisipaletin luonti.

Animaatioleikkeen purkamisen ja asennon erittelyn vaiheessa kunkin yksittäisen animaatioleikkeen data puretaan ja staattista asentoa eritellään aikaindeksin mukaan. Vaiheen tuloksena syntyy paikallinen luurankoasento kullekin animaatioleikkeen syötteelle. Useampien animaatioleikkeiden sekoittamisen vaiheessa syötteenä annetut asennot yhdistetään käyttämällä jotakin interpolointimenetelmää. Tuloksena saadaan yksittäinen paikallinen asento kaikille luurangon nivelille. Globaalien asennon luonnin vaiheessa luodaan luurangon globaali asento yhdistämällä nivelten paikalliset asennot. Jälkikäsitteilyn vaiheessa luurangon paikalliset ja/tai globaalit asennot voidaan muuttaa ennen lopullista asentoa. Jos jälkikäsitteilyprosessin aikana luodut uudet paikalliset asennot käyttivät globaalien asennon tietoa, silloin täytyy tehdä globaalien asennon uudelleenlaskenta muutetusta paikallisesta asennosta. Matriisipaletin luontivaiheen tuloksena muodostuvat matriisipaletit luurangon pinnoitusta varten [Gre09, s. 553-554].



Kuva 16: Tyypillinen animaatioliukuhihna.

3.7.2 Toimintatilakone

Pelihahmon toimintoja, kuten seisominen, kävely, juoksu, hyppy ja niin edelleen, yleisesti mallinnetaan äärellisellä tilakoneella, jota kutsutaan toimintatilakoneeksi (action state machine). Toimintatilakoneen alijärjestelmä sijaitsee animaatioliukuhinnan päällä ja tarjoaa tilaan perustuvaa animaatorajapintaa, ja myös varmistaa, että hahmot voivat siirtyä sujuvasti tilasta toiseen. Jokainen tila toimintatilakoneessa vastaa samanaikaisten animaatioleikkeiden monimutkaista sekoitusta. Sekoituspuaarkkitehtuurissa kukin tila vastaa tiettyä ennalta määrättyä sekoituspuuta (blend tree).

Nykyaikaiset pelimoottorit tarjoavat tieto-ohjattua (data-driven) keinoa animaatiotilojen määrittelemiseksi. Tieto-ohjatun lähestymistavan tavoitteena on sallia käyttäjän luoda uusia tai poistaa tarpeettomia tiloja, hienosäätää olemassa olevia tiloja ja myös nähdä tehtyjen muutoksien vaikutuksia. Toisin sanoen tieto-ohjatun animaatiomoottorin tärkeänä tavoitteena on mahdollistaa nopea iteraatio.

Animaation tilatietojen syöttökeinot vaihtelevat käytetyn pelimoottorin mukaan. Toiset pelimoottorit käyttävät yksinkertaista riisuttua lähestymistapaa sallimalla tilojen määrittelemisen tekstitiedostossa yksinkertaisella syntaksilla. Toiset pelimoottorit tarjoavat graafisen editorin, joka sallii tilojen luontia suoraan piirtoalueella. Tällaiset editorit yleensä tarjoavat esikatselumahdollisuuden, eli käyttäjällä on mahdollisuus suoraan nähdä tulokset tehdyistä muutoksista.

Tilasiirtymien hallinta toimintatilakoneessa on tärkeä osa animoitujen hahmojen luonnissa. Useimmat animaatiomoottorit tarjoavat tieto-ohjattua mekanismeja siirtymien käsittelyyn. Siirtymän kuvaamiseen määritellään erilaisia parametreja, esimerkiksi siirtymätyyppi, lähtö- ja kohdetila. Pelissä tilansiirtomatriisi, on tavallisesti melko pieni, koska kaikki tilasta tilaan siirtymät eivät ole mahdollisia. Esimerkiksi siirtymät kuollut-tilasta mihin tahansa muuhun tilaan on yleensä kielletty. Samoin ei ole todennäköisesti mitään tapaa mennä ajo-tilasta uinti-tilaan ilman välitilaa, joka saa hahmon hyppäämään autosta ulos [Gre09, s. 568-593].

3.7.3 Animaatio-ohjaimet

Monissa pelimoottoreissa animaatio-ohjaimien (animation controllers) korkeatasoinen järjestelmä ohjaa viime kädessä pelihahmojen käyttäytymistä. Jokainen ohjain on räätälöity hoitamaan hahmon käyttäytymistä tietyssä tilassa ja on vastuullinen vain yhdentyypisistä hahmon käyttäytymismallista, esimerkiksi liikkuminen pelimaailmassa paikasta toiseen tai autolla ajaminen. Ohjainpohjaisen mallin etuna on se, että kaikki tiettyyn käyttäytymistyyppiin liittyvä koodi on sijoitettu yhteen paikkaan. Tämä malli myös mahdollistaa korkeamman tason pelitoimintajärjestelmien (gameplay systems), kuten pelitekniikat tai tekoäly, yksinkertaistetun käytön, koska kaikki animaatiohallinnan yksityiskohdat voidaan purkaa ja piilottaa ohjaimien sisään.

Animaatio-ohjaintasolla on monia eri muotoja ja se on hyvin riippuvainen pelin tarpeista ja tuotantotiimin ohjelmiston suunnitteluperiaatteesta. Joissakin tuotantotiimeissä animaatio-ohjaimia ei käytetä lainkaan, kun taas toisissa animaatio-ohjaimia integroidaan tiiviisti tekoäly- ja/tai pelitekniikkajärjestelmiin. On olemassa vielä muita tuotantotiimejä, jotka toteuttavat sarjan suhteellisen yleiskäyttöisiä ohjaimia, joita voidaan jakaa pelaajahahmon ja ei-pelaajahahmon (NPC) kesken. Peliteollisuudessa ei ole ainakaan vielä mitään standardia tapaa toteuttaa animaatio-ohjaimia [Gre09, s. 593].

Lähteet

- Aut13 Autodesk Maya 2013
http://download.autodesk.com/global/docs/maya2013/en_us/index.html?url=files/CSS_Skeleton_hierarchy.htm,topicNumber=d30e277440 [15.02.2013].
- Gre09 Gregory, J., *Game Engine Architecture*. A K Peters, 2009.
- Mae06 Maestri, G., *Digital Character Animation 3*. New Riders, 2006.
- Meu09 Meunier, N., *Interview with Reuben Langdon, Video Game Motion Capture Reinassance Man*. April 16, 2009.
<http://www.cheatcc.com/extra/interviewmocapreubenlangdon.html> [5.12.2012].
- Mot12 <http://www.scribd.com/doc/38158397/Motion-Capture> [1.02.2013].
- PEG10 Parent, R., Ebert, D., Gould, D., Gross, M., Kazmier, C., Keiser, R., Lumsden, C., Menanche, A., Mülle-Fischer, M., Musgrave, K., Pauly, M., Peachey, D., Perlin, K., Pfister, H., Sharpe, J., Wicke, M., Wilkins, M., Woolridge, N. ja Worley, S., *Computer Animation Complete*. Burlington: Elsevier Inc, 2010.
- Puh08 Puhakka, A., *3D-grafikka*. Talentum, 2008.
- Rob11 Roberts, S., *Character Animation Fundamentals: Developing Skills for 2D and 3D Character Animation*. Elsevier Science, 2011.