
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

مهندسی برق و کامپیوتر

بررسی سیستم گراف انیمیشن در موتور بازی سازی آنریل و پیاده‌سازی یک سیستم انیمیشن با استفاده از OpenGL

پایان‌نامه کارشناسی مهندسی کامپیوتر

نامی نذیری

استاد راهنما

دکتر مازیار پالهنگ

۱۴۰۱

دانشگاه صنعتی اصفهان

مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی رشته مهندسی کامپیوتر آقای نامی نذیری

تحت عنوان

بررسی سیستم گراف انیمیشن در موتور بازی سازی آنریل و پیاده‌سازی یک سیستم انیمیشن با استفاده از OpenGL

در تاریخ ۱۴۰۱/۰۴/۲۹ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت:

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه دکتر مازیار پالهنگ

۲- استاد داور دکتر زینب زالی

فهرست مطالب

عنـــوان **صفحه**

[1] Motion Capture
[2] Mesh
[3] Sub-Mesh
[4] Material
[5] Texture

چکیده

پویانمایی کامپیوتری فرایندی است که برای تولید تصاویر متحرک دیجیتالی استفاده می‌شود. پویانمایی کامپیوتری مدرن معمولا از گرافیک کامپیوتری سه‌بعدی برای ایجاد یک تصویر سه‌بعدی استفاده می‌کند. در اکثر سیستم‌های پویانمایی کامپیوتری سه‌بعدی یک انیماتور نمایش ساده از آناتومی یک شخصیت ایجاد می‌کند که مشابه یک اسکلت یا آدمک می‌باشد. در شخصیت‌های انسان و حیوانات اکثر قسمت‌های این مدل اسکلتی با استخوان‌های واقعی مطابقت دارد.

گام اول این پروژه بررسی سیستم گراف پویانمایی در موتور بازی‌سازی آنریل می‌باشد. گراف انیمیشن برای محاسبه‌ی وضعیت نهایی یک مش اسکلتی در فریم فعلی استفاده می‌شود. به صورت کلی این گراف برای نمونه‌گیری ، ترکیب و دستکاری ژست‌ها استفاده می‌شود و این ژست به مش‌های اسکلتی توسط طرح انیمیشن اعمال می‌شود. در این گام به بررسی این گراف و الگوریتم‌های به کار گرفته شده در آن خواهیم پرداخت.

در گام دوم نیز به پیاده‌سازی سیستم انیمیشن اسکلتی از پایه، با توجه به روش‌های بدست‌آمده پرداخته می‌شود. این مرحله سه هدف را دنبال می‌کند. هدف اول نمایش اسکلتون در یک محیط سه‌بعدی و نورپردازی آن، که با استفاده از OpenGL به وجود آمده است، می‌باشد. در این مرحله باید با استفاده از زبان C++ برنامه‌ای بنویسیم که در نهایت بتواند یک کلیپ پویانمایی به وجود آمده به وسیله‌ی فریم‌های کلیدی را نمایش دهد. هدف دوم اضافه کردن یک مش به اسکلتون با استفاده از روش های پوسته سازی می‌باشد. هدف نهایی نیز پیاده‌سازی روش ترکیب کلیپ‌های پویانمایی می‌باشد تا بتوانیم کلیپ‌های مختلف را با یکدیگر ترکیب کنیم.

کلمات کلیدی

انیمیشن‌های کامپیوتری، موتور بازی‌سازی ، موتور آنریل، گراف انیمیشن، گرافیک سه‌بعدی کامپیوتری

فصل اول
مقدمه

پویانمایی هنر جان‌بخشیدن به اجسام بدون جان است. والت دیزنی درباره‌ی پویانمایی می‌گوید: "پویانمایی می تواند هر آنچه را که ذهن انسان تصور می‌کند، توضیح دهد"

وقتی می‌گوییم جسمی را پویا کردیم، یعنی به آن جان بخشیدیم. زمانی که یک فیلم پویانمایی شده را در تلوزیون یا سینما می‌بینید، شخصیت‌های درون آن فیلم در حالت حرکت هستند. این حرکت معمولا صاف و به هم پیوسته است. نوارهای حاوی فیلم متشکل از دنباله‌ای از تصاویر هستند که به عنوان "فریم" شناخته می‌شوند و درواقع با پخش شدن این فریم‌ها به صورت متوالی، توهم ایجاد حرکت به مخاطب منتقل می‌شود.

پویانمایی از گذشته تا امروز تغییرات فراوانی را دیده است. در پویانمایی سنتی، تصاویر به وسیله‌ی دست روی صفحات سلولوئیدی شفاف ترسیم یا نقاشی شده سپس از آن‌ها عکس گرفته و روی فیلم نمایش داده می‌شدند. امروزه اکثر پویانمایی‌ها با تصاویر کامپیوتری [1] ساخته می‌شوند. [۱] علاوه بر این، دامنه‌ی استفاده از این پویانمایی نیز دستخوش بسیاری تغییرات شده‌است. در گذشته پویانمایی را می‌توانستیم در فیلم‌های پویانمایی شده یا کارتون‌ها مشاهده کنیم. اما اکنون با پیشرفت تکنولوژی، پویانمایی نقش بسیار اساسی‌ای در بازی‌های کامپیوتری پیدا کرده است. هدف بازی‌های کامپیوتری، به خصوص بازی‌های کامپیوتری داستان محور، غوطه‌ور کردن بازیکن در داستان است. همانطور که اشاره

[1] CGI

شد پویانمایی هنر جان بخشیدن به اجسام است و به وسیله‌ی آن است که می‌توانیم احساسات و اعمال شخصیت بازی را به بازیکن منتقل کنیم.

بازی‌های کامپیوتری به صورت معمول توسط موتورهای بازی‌سازی ساخته می‌شوند. اگر بخواهیم تعریفی برای موتور بازی‌سازی آوریم می‌توان گفت آن‌ها پلتفرم‌هایی هستند که ساخت بازی‌های رایانه‌ای را آسان‌تر می‌کنند. موتورهای بازی‌سازی متشکل از مولفه‌های مختلفی هستند که قابلیت‌های لازم برای ساخت بازی را فراهم می‌کنند. از رایج‌ترین مولفه‌های موتور بازی می‌توان به مولفه‌ی صدا، مولفه‌ی رندر، مولفه‌ی هوش مصنوعی و مولفه‌ی پویانمایی اشاره کرد. [۲]

هدف اصلی این پروژه آشنایی با روش‌های استفاده شده در محیط‌های گرافیکی مانند موتورهای بازی‌سازی با تاکید بیشتر بر روی سیستم‌های پویانمایی به کار رفته در این محیط‌ها است.

به همین جهت این پروژه به دو صورت این هدف را دنبال می‌کند. جهت آشناشدن با یک موتور بازی‌سازی و نحوه‌ی پیاده‌سازی سیستم پویانمایی آن، موتور بازی‌سازی آنریل انتخاب شده است. آنریل یکی از معروف ترین موتورهای بازی‌سازی در جهان است که اولین نسل آن توسط تیم سوینی، بنیانگذار اپیک گیمز [۱]، توسعه یافت. آخرین نسخه‌ی این موتور به اسم موتور بازی‌سازی آنریل ۵ در سال ۲۰۲۰ معرفی و در سال ۲۰۲۲ انتشار یافت. سیستم پویانمایی این موتور بسیار وسیع است. به همین دلیل بخش کوچکی از این سیستم که گراف پویانمایی نام دارد، انتخاب شده و به بررسی ساختار و نحوه‌ی استفاده از این گراف می‌پردازیم.

پس از بدست آوردن تجربه‌ی اولیه از گراف پویانمایی برای آشنایی کامل تر با محیط گرافیکی و همچنین سیستم پویانمایی، به پیاده‌سازی یک سیستم پویانمایی با استفاده از OpenGL پرداختیم. OpenGL یک واسط برنامه نویسی کاربردی [۲] است که با فراهم کردن توابع مختلف به توسعه‌دهندگان امکان دستکاری گرافیک و تصاویر را می دهد. با استفاده از این API می‌توان آشنایی خوبی در مورد گرافیک کامپیوتری و به صورت کلی محیط‌های گرافیکی بدست آورد. برای محیط سه‌بعدی پیاده‌سازی شده از روش Phong Shading برای نورپردازی محیط استفاده شده است. این روش یکی از معروف ترین روش‌های نورپردازی در محیط‌های سه‌بعدی بلادرنگ به‌خصوص بازی‌های کامپیوتری است. علاوه بر تولید صحنه‌ی سه‌بعدی، برای بدست آوردن آشنایی کامل با سیستم‌های پویانمایی که دربازی‌ها استفاده می‌شوند، به پیاده‌سازی یک نمونه از آن پرداختیم. در این پیاده‌سازی سیستم پویانمایی به چند بخش کلی تقسیم شده است که هر کدام هدف‌های مختلفی را دنبال می‌کند. برای اینکه یک سیستم پویانمایی داشته باشیم در ابتدا به یک شخصیتی نیاز داریم تا کلیپ‌های پویانمایی بر روی آن اجرا شود. شخصیت‌ها در این پیاده‌سازی توسط کتابخانه‌ی Assimp در ساختمان داده‌های مناسب ذخیره می‌شوند. هر شخصیت در این پیاده‌سازی به دو قسمت کلی مش و اسکلت

[1] Epic Games
[2] API

تقسیم می‌شود. یکی از وظایف مهم این پیاده‌سازی، اتصال این دو قسمت به یکدگیر است. این اتصال به صورت کلی به اسم Skinning نام دارد. مرحله‌ی بعدی پیاده‌سازی به پخش کلیپ‌های پویانمایی بر روی این شخصیت می‌پردازد. درنهایت از ماشین حالت متناهی برای برای ترکیب کلیپ‌های پویانمایی متفاوت با یکدیگر استفاده شده است.

خروجی این پروژه یک تحقیق در مورد سیستم گراف پویانمایی آنریل به همراه یک نرم‌افزار گرافیکی سیستم پویانمایی است.

در فصل‌های آتی به بررسی این موارد گفته‌شده پرداخته می‌شود. ابتدا در فصل دوم یک مروری بر تاریخچه‌ی پویانمایی می‌شود. سپس توضیحاتی درباره‌ی موتور بازی‌سازی و موتور بازی‌سازی آنریل داده می‌شود و درنهایت توضیحاتی کلی درباره‌ی روش‌های نورپردازی محیط و پویانمایی اسکلتونی که به وفور در موتورهای بازی‌سازی استفاده می‌شود، داده می‌شود.

در فصل سوم به بررسی موتور بازی‌سازی آنریل با تاکید بر روی گراف پویانمایی می‌پردازیم و نحوه‌ی استفاده از آن را بررسی می‌کنیم.

در نهایت در فصل چهارم توضیحاتی درباره‌ی نحوه‌ی پیاده‌سازی سیستم پویانمایی به همراه توضیحات سیستم‌های موجود در این پیاده‌سازی می‌پردازیم.

در فصل "نتیجه‌گیری"، یک نتیجه‌گیری کلی از خروجی‌های این پروژه ارائه کرده و در فصل "کارهای آینده"، به بررسی مشکلاتی که می‌تواند در پیاده‌سازی برطرف شوند به همراه پیشنهاداتی برای ادامه‌ی این پروژه پرداخته می‌شود.

فصل دوم
مرور

از گذشته تا امروز نحوه‌ی تولید و همچنین استفاده از کلیپ‌های پویانمایی تغییرات زیادی کرده است. در گذشته اکثر پویانمایی‌ها با استفاده از دست و ترسیم بر روی صفحات سلولوئیدی تولید می‌شدند. درصورتیکه که امروزه، اکثر کلیپ‌های پویانمایی توسط تصاویر گرافیکی کامپیوتری ساخته‌می‌شوند. اگرچه با پیشرفت تکنولوژی روش‌های جدیدی برای تولید پویانمایی به‌وجودآمده، همچنان نیز از اکثر روش‌هایی که در پویانمایی سنتی استفاده می‌شد، در پویانمایی کامپیوتری نیز استفاده می‌شود.

امروزه نه تنها از پویانمایی برای تولید فیلم و کارتون استفاده می‌شود، بلکه آن‌ها نقش تاثیرگذاری در بازی‌های کامپیوتری پیدا کرده‌اند. برای تولید بازی‌های کامپیوتری از موتورهای بازی‌سازی استفاده می‌شود. موتورهای بازی‌سازی دارای مولفه‌های متفاوتی هستند که هرکدام وظیفه‌ی مخصوص به خودشان را دارند. مولفه‌ای که وظیفه‌ی پخش کلیپ‌های پویانمایی را دارد، مولفه‌ی پویانمایی گویند. بدیهی است اگر بخواهیم از سیستم پویانمایی استفاده کنیم نیازمند یک محیط گرافیکی هستیم. محیط‌های گرافیکی به صورت معمول از کارت گرافیک استفاده می‌کنند. برای دسترسی به توابع کارت گرافیکی می‌توان از یک واسط برنامه‌نویسی کاربردی مانند DirectX یا OpenGL استفاده کرد. علاوه بر این، برای مشاهده‌ی اشیاء موجود در محیط سه‌بعدی نیاز است که محیط را نورپردازی کنیم. روش‌های متنوعی برای نورپردازی محیط وجود دارند. یکی از این روش‌ها Phong Shading است که در این پروژه نیز استفاده

شده است.

در اکثر سیستم‌های پویانمایی بازی‌های کامپیوتری از پویانمایی اسکلتی برای پخش و ترکیب کلیپ‌های پویانمایی استفاده می‌شود.

پویانمایی اسکلتی تکنیکی در پویانمایی کامپیوتری است که به وسیله‌ی آن، شخصیت‌های درون بازی متحرک می‌شوند. این سیستم به دو بخش کلی تقسیم می‌شود. یک بخش،یک مش یا پوسته است که برای به نمایش کشاندن شخصیت در محیط سه‌بعدی استفاده می‌شود و بخش دوم یک اسکلت است. این اسکلت مجموعه سلسله مراتبی از قطعات به‌هم‌پیوسته است که به هر قطعه یک مفصل گویند. در این تکنیک، اسکلت شخصیت درون بازی متحرک شده و با روش‌های موجود، پوسته یا مش آن شخصیت، اسکلت را دنبال می‌کند.

در این فصل، ابتدا مروری بر پویانمایی سنتی و روش‌های تولید آن می‌کنیم. سپس نگاهی به پیشرفت صنعت تولید پویانمایی کامپیوتری می‌اندازیم و روش‌های فعلی تولید پویانمایی را خواهیم گفت. پس از آن توضیحی در رابطه با موتورهای بازی‌سازی و به ویژه موتور آنریل خواهیم داد.

در قسمت انتهایی توضیحی در مورد Phong Shading که یکی از روش‌های نورپردازی محیط سه‌بعدی است خواهیم داد و علاوه بر آن در انتها توضیحات جامعی را در مورد پویانمایی اسکلتی ارائه خواهیم کرد.

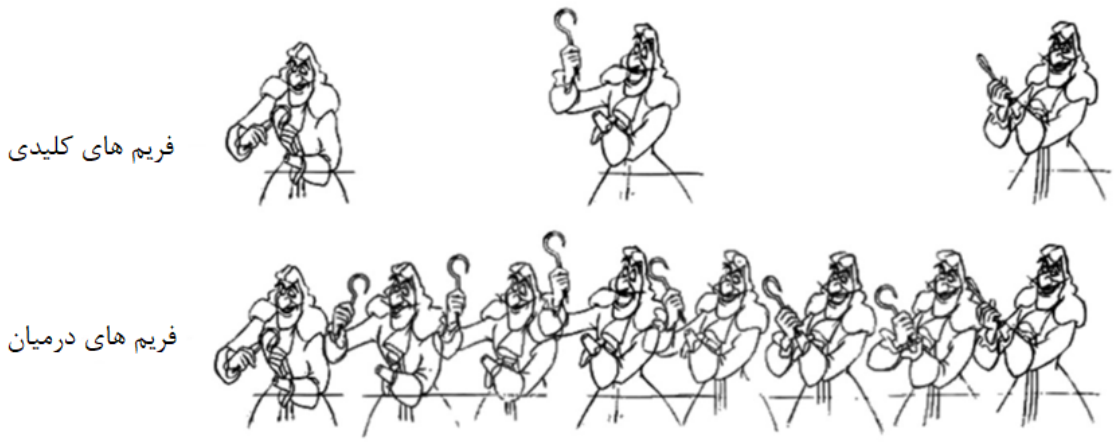
۲-۱ تاریخچه‌ی پویانمایی سنتی

پویانمایی سنتی که با اسم‌های مختلفی مانند "پویانمایی مرسوم" ، "پویانمایی سل‌ای"و "پویانمایی بادست" شناخته می‌شود، روشی غالب برای تولید فیلم‌های پویانمایی‌شده در حدود قرن ۲۰ میلادی بود. در این روش، به صورت کلی پویانمایی به وسیله‌ی نقاشی با دست به وجود می‌آید. درواقع هر فریم از فیلم، یک عکس از نقاشی است و برای به وجود آوردن توهم حرکت، هر نقاشی اندکی با نقاشی قبلی خود تفاوت دارد.

برای تولید پویانمایی سنتی، از روش‌های مختلفی استفاده می‌شد. در اینجا به بررسی سه روش استفاده شده در پویانمایی سنتی می‌پردازیم.

۲-۱-۱ فریم‌های کلیدی و درمیان

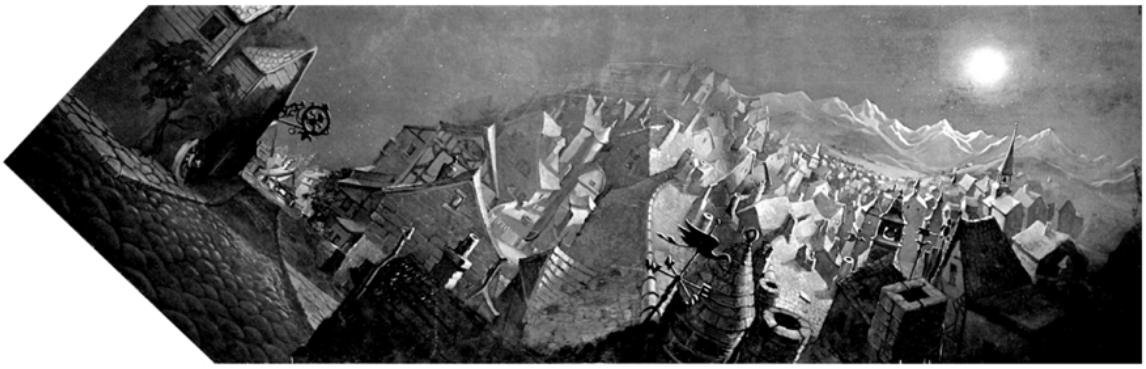
از آنجایی که تولید پویایی با دست و کشیدن نقاشی کار بسیار طولانی‌ای بود، برای اینکه وقت پویانمای‌های ارشد ذخیره شود، این پویانماها فریم‌های اصلی یک حرکت را بر روی کاغذ ترسیم می‌کردند و فریم‌های میانی را پویانماهای جوان پر می‌کردند.



شکل ۲-۱ - فریم‌های کلیدی و درمیان [۳]

۲-۱-۲ چشم‌انداز چندمنظوره

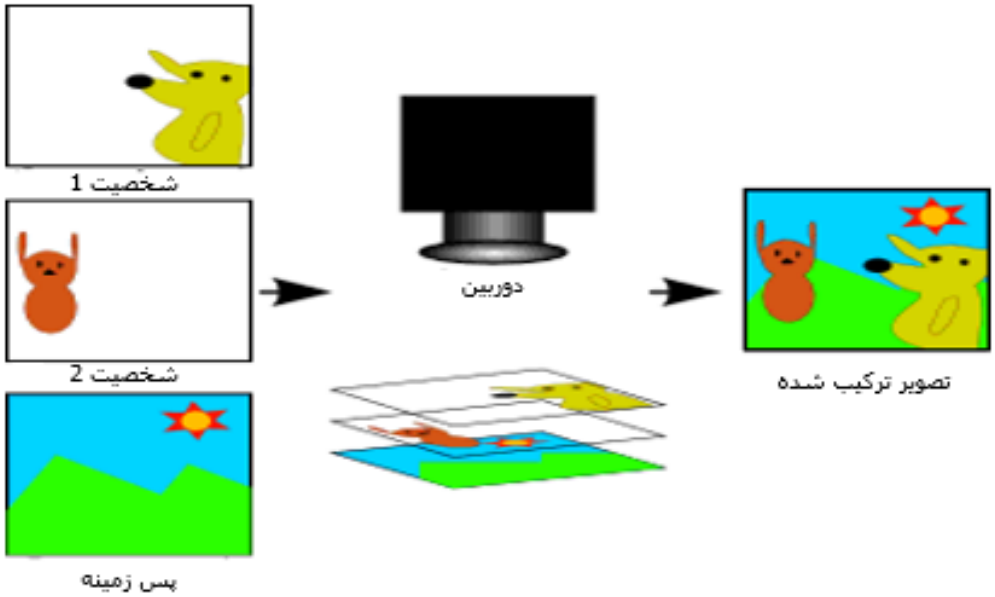
استفاده از چشم‌انداز چندمنظوره روش دیگری بود که در پویانمایی سنتی استفاده می‌شد. هماطور که از تصویر زیر مشخص است، برای نمایش یک محیط از یک چشم‌انداز استفاده می‌شد. این چشم‌انداز می‌توانست نشان دهنده‌ی قرارگیری محیط در فواصل مختلف باشد. در این صورت، زمانی که دوربین در صحنه حرکت می‌کرد این توهم را در مخاطب ایجاد می‌کرد که گویی در محیط در حال حرکت هستیم.



شکل ۲-۲ - چشم‌انداز چندمنظوره [۴]

۲-۱-۳ لایه‌های مختلف

با استفاده از این روش، پویانماها یک صحنه را به چند قسمت مختلف تقسیم می‌کردند. به عنوان مثال لایه‌های مختلفی برای هر شخصیت درون صحنه استفاده می‌شد. علاوه بر این یک لایه نیز برای تصویر پس‌زمینه استفاده می‌شد. از آنجایی که این لایه‌ها یک صفحه‌ی شفاف هستند، بنابراین می‌توان لایه‌ها را بر روی هم انباشته کرد و با تصویر برداری از بالا، تمام صحنه را تصویربرداری کرد. این روش در تصویر ۲-۳ آورده شده است.



شکل ۲-۳ - لایه‌های مختلف[۵]

۲-۲ پویانمایی کامپیوتری

اگر بخواهیم نگاهی به تاریخچه‌ی پویانمایی کامپیوتری بیاندازیم، مشاهده می‌کنیم که در حدود دهه‌ی ۱۹۸۰ میلادی شرکت دیزنی به عنوان یکی از اولین شرکت‌های جهان، شروع به دیجیتالی کردن خط لوله‌ی تولید پویانمایی سنتی خود کرد. در این دیجیتال‌سازی بسیاری از روش‌ها و ایده‌های استفاده شده در پویانمایی سنتی، به‌کار گرفته‌شد. اولین مقالات این حوزه توسط آقای جان لستر از کارمندان پیکسار به عنوان "اصول پویانمایی سنتی به‌کار رفته در پویانمایی کامپیوتری سه‌بعدی" ارائه شد. در این مقاله اصول اولیه پویانمایی سنتی دوبعدی ترسیم شده با دست و کاربرد آن‌ها در پویانمایی کامپیوتری سه‌بعدی شرح داده شده است. [۶]

پویانمایی کامپیوتری تنها محدود به دنیای سینما و فیلم‌های پویانمایی نمی‌شوند و به دنیای بازی‌های کامپیوتری نیز ورود پیدا کرده‌اند. بازی‌های کامپیوتری سعی می‌کنند دیوار میان تماشاگران و فیلم را بشکنند و با تعاملی بودن و دادن آزادی عمل به بازیکن، سعی می‌کنند داستان را به گونه‌ای تعریف کنند که گویی بازیکن یکی از شخصیت‌های اصلی داستان است. پویانمایی در بازی‌های کامپیوتری اهمیت بسیار بالایی دارد زیرا همانطور که گفته شد باعث جان بخشیدن به شخصیت‌ها می‌شود که اهمیت بسیار بالایی برای جلب توجه بازیکنان در هنگام داستان‌سرایی دارد.

با پیشرفت تکنولوژی، همراه با استفاده از روش‌های گذشته، روش‌های جدیدتری برای تولید پویانمایی توسعه یافته‌است که در ادامه به چند مورد از آن‌ها می‌پردازیم.

۲-۲-۱ فریم‌های کلیدی و درمیان

همانطور که اشاره شد در پویانمایی کامپیوتری از روش‌های موجود در پویانمایی سنتی استفاده شده است. در اینجا نیز فریم‌های کلیدی یک حرکت، توسط پویانماها به وجود می‌آیند ولی فریم‌های میانی به جای اینکه توسط پویانماها به وجود آیند، توسط کامپیوتر با استفاده از روش های درون‌یابی به وجود می‌آیند.

۲-۲-۲ رویه

در این روش، حرکت بر اساس یک الگوریتم بیان می‌شود. درواقع کلیپ‌های پویانمایی در این نوع پویانمایی، توابعی با تعداد کمی از متغیرها هستند. به عنوان مثال یک تابعی را درنظر بگیرید که با گرفتن ورودی ثانیه، دقیقه و ساعت، یک شئ ساعت را خروجی دهد که عقربه‌هایش در جای مناسب با توجه به ورودی‌ها قرار گرفته باشد. حال می‌توان با تغییر ورودی‌ها حرکت ساعت را شبیه‌سازی کنیم.

۲-۲-۳ مبتنی بر فیزیک

پویانمایی مبتنی بر فیزیک پلی میان دنیای پویانمایی با دنیای واقعی است. در این روش با نسبت دادن ویژگی‌های فیزیک به اشیاء سه‌بعدی و سپس حل‌کردن فرمول‌های فیزیک مانند فرمول حرکت یا فرمول‌های نیوتن، فیزیک شبیه سازی می‌شود. پویانمایی‌های مبتنی بر فیزیک شخصیت را قادر می‌سازد تا حرکت‌های خود را به صورت پویا با محیط تنظیم کند.

۲-۲-٤ ضبط حرکت [1]

به فرآیند ثبت و دیجیتالی‌کردن حرکت یک شئ یا شخص، ضبط حرکت گویند. ضبط حرکت توسط دوربین‌های مادون قرمز که تعدادی زیادی از آن‌ها در صحنه‌ی ضبط قرار دارند، صورت می‌گیرد. این دوربین‌ها به صورت شبکه به یکدیگر متصل هستند و پس از کالیبره شدن، آماده‌ی استفاده هستند. این دوربین‌ها با استفاده از نشانگرهای سفیدی که بر روی لباس بازیگران ضبط حرکت قرار دارد، داده‌های مورد نیازشان را دریافت می‌کنند. قابل ذکر است این نشانگرها بازتابنده‌ی مادون قرمز هستند که توسط دوربین‌ها دریافت می‌شود. در نهایت پویانماها به پاکسازی و پردازش این داده‌ها پرداخته تا آن را برای استفاده‌ی شخصیت‌های سه بعدی آماده کنند.

[1] Motion Capture

۲-۳ موتور بازی‌سازی

موتورهای بازی‌سازی پلتفرم‌هایی هستند که ساخت بازی‌های رایانه‌ای را آسان‌تر می‌کنند. آن ها به شما این امکان را می‌دهند تا عناصر بازی مانند پویانمایی، تعامل با کاربر یا تشخیص برخورد میان اشیاء را در یک واحد ادغام و ترکیب کنید. [۲] زمانی که از اصطلاح موتور بازی‌سازی استفاده می‌کنیم منظورمان نرم‌افزارهای قابل توسعه‌ای هستند که می توانند پایه و اساس بسیاری از بازی‌های مختلف باشند. [۷] موتورهای بازی‌سازی متشکل از اجزای مختلفی هستند که قابلیت‌های لازم برای ساخت بازی را فراهم می‌کنند. رایج ترین اجزای موتور بازی عبارتند از: [۲]

- مولفه‌ی صدا: نقش اصلی این مولفه تولید جلوه‌های صوتی در بازی است.
- موتور رندر: وظیفه اصلی این مولفه تبدیل داده‌های ورودی به پیکسل‌ها، برای به تصویر کشاندن بر روی صفحه است.
- مولفه هوش مصنوعی: این مولفه مسئولیت ارائه‌ی تکنیک‌هایی برای تعریف قوانین رفتار شخصیت‌هایی را دارد که توسط بازیکنان کنترل نمی‌شوند.
- مولفه پویانمایی: نقش اصلی این مولفه اجرای کلیپ‌های پویانمایی مختلف مانند حرکت است.
- مولفه شبکه: وظیفه اصلی این مولفه قادرساختنِ بازیِ همزمانِ بازیکنان با یکدیگر، از طریق استفاده از دستگاه‌های متصل به اینترنت است.
- مولفه منطق یا مکانیک بازی: این مولفه قوانین حاکم بر دنیای مجازی، ویژگی‌های شخصیت‌های بازیکنان، هوش مصنوعی و اشیاء موجود در دنیای مجازی و همچنین وظایف و اهداف بازیکنان را تعریف می‌کند.
- ابزارهای نرم‌افزاری: وظیفه اصلی این ابزارها افزایش راندمان و سرعت تولید بازی با موتور بازی‌سازی است. آن‌ها توانایی اضافه‌کردن بسیاری از عناصر مختلف را به بازی‌ها، از پویانمایی و جلوه‌های صوتی گرفته تا الگوریتم‌های هوش مصنوعی، را فراهم می‌کنند.

یکی از مهم‌ترین مولفه‌های موجود در هر موتور بازی، مولفه‌ی پویانمایی آن است. در این پروژه به بررسی سیستم گراف پویانمایی که وظیفه‌ی پخش کلیپ‌های پویانمایی شخصیت‌های سه‌بعدی را در موتور بازی آنریل دارد می‌پردازیم.

۲-٤ موتور بازی‌سازی آنریل

اولین نسل موتور بازی‌سازی آنریل توسط تیم سوینی، بنیانگذار اپیک گیمز [۱]، توسعه یافت. سوینی در سال ۱۹۹۵ شروع به نوشتن این موتور برای تولید بازی تیراندازی اول شخصی به اسم غیرواقعی [۲] کرد.

[1] Epic Games
[2] Unreal

نسخه‌ی دوم موتور بازی‌سازی آنریل در سال ۲۰۰۲ منتشر شد.

نسخه سوم نیز در سال ۲۰۰۴ پس از حدود ۱۸ ماه توسعه، منتشر شد. در این نسخه، معماری پایه‌ای موجود در نسخه‌ی اول مانند طراحی شی‌گرا، اسکریپت‌نویسی مبتنی بر داده و رویکرد نسبتا ماژولار نسبت به زیرسیستم‌ها وجود داشت. اما برخلاف نسخه دوم که از یک خط لوله با عملکرد ثابت [۱] استفاده می‌کرد، این نسخه به صورتی طراحی شده بود تا بتوان قسمت‌های سایه‌زنی سخت‌افزاری [۲] را برنامه‌نویسی کرد.

موتور بازی‌سازی آنریل ۴ در سال ۲۰۱۴ در کنفرانس توسعه‌دهندگان بازی [۳] منتشر شد. این نسخه با طرح کسب‌وکار اشتراکی برای توسعه‌دهندگان در دسترس قرار گرفت. این اشتراک به صورت ماهانه، با پرداخت ۱۹ دلار آمریکا به توسعه‌دهندگان این اجازه را می‌داد تا به نسخه‌ی کامل موتور، از جمله کد منبع C++ آن دسترسی پیدا کنند. البته در سال ۲۰۱۵ اپیک گیمز موتور بازی‌سازی آنریل را به صورت رایگان برای همگان منتشر ساخت.

آخرین نسخه آنریل به اسم موتور بازی‌سازی آنریل ۵ در سال ۲۰۲۰ معرفی شد. این نسخه از تمام سیستم‌های موجود از جمله کنسول‌های نسل بعدی پلی‌استیشن ۵ [۴] و ایکس‌باکس سری X/S [۵] پشتیبانی می کند. کار بر روی این موتور حدود دو سال قبل از معرفی آن شروع شده بود. در سال ۲۰۲۱ نسخه‌ای از آن به صورت دسترسی اولیه منتشر شد. به طور رسمی در سال ۲۰۲۲ نسخه‌ی کامل این موتور برای توسعه‌دهندگان انتشار یافت. [۸]

۲-۵ زبان برنامه‌نویسی در آنریل

موتور بازی‌سازی آنریل از زبان برنامه نویسی C++ به همراه اسکریپ بصری به نام Blueprint استفاده می‌کند.

Blueprint یک سیستم برنامه‌نویسی کامل گیمپلی مبتنی بر مفهوم استفاده از رابط‌های مبتنی بر گره برای ایجاد عناصر گیمپلی از درون ویرایشگر است. این سیستم بسیار منعطف و قدرتمند است زیرا این توانایی را در اختیار طراحان قرار می دهد تا از طیف گسترده ای از مفاهیم و ابزارها که عموماً فقط در دسترس برنامه نویسان هستند استفاده کنند. [۹]

۲-۶ گرافیک کامپیوتری

گرافیک کامپیوتری زیرشاخه‌ای از علوم کامپیوتر است که روش‌های ترکیب دیجیتالی و دستکاری محتوای بصری را مطالعه می‌کند. اغلب اوقات این اصطلاح به مطالعه‌ی گرافیک کامپیوتری سه‌بعدی اشاره دارد. [۱۰] گرافیک کامپیوتری را می‌توان در موارد مختلفی مانند طراحی رابط کاربری، رندر اشیاء هندسی، پویانمایی و بسیاری موارد دیگر

[1] fixed-function pipeline
[2] shader hardware
[3] GDC
[4] PlayStation 5
[5] Xbox Series X/S

استفاده کرد. ابزارهای مختلفی برای پیاده‌سازی گرافیک کامپیوتری استفاده می‌شوند. یکی از این ابزارها OpenGL است. در این پروژه برای ایجاد محیط گرافیکی از OpenGL استفاده شده است. برای اینکه بتوان شخصیت‌ها و محیط سه‌بعدی را به وضوح مشاهده کرد از یک الگوریتم نورپردازی به نام سایه‌زنی فونگ استفاده شده است. در این بخش توضیح کوتاهی درباره‌ی OpenGL و این روش سایه‌زنی آورده شده است.

۲-۶-۱ OpenGL

OpenGL یک واسط برنامه نویسی کاربردی [1] است که با فراهم کردن توابع مختلف به توسعه‌دهندگان امکان دستکاری گرافیک و تصاویر را می‌دهد. OpenGL یک کتابخانه‌ی رندرینگ است. یک "شئ" به خودی خود در OpenGL مفهومی ندارد و به صورت مجموعه‌ای از مثلث‌ها و حالات مختلف درنظر گرفته می‌شود. بنابراین وظیفه‌ی ما است که بدانیم چه شئ‌ای در کدام قسمت صفحه رندر شده است. این کتابخانه تنها وظیفه‌اش، کشیدن تصاویری که است که می‌خواهیم به تصویر کشیده‌شوند. در این صورت اگر می‌خواهیم تصویری را به‌روزرسانی کنیم و یا به عنوان مثال شئ‌ای را متحرک کنیم باید به OpenGL درخواست دهیم که صحنه را دوباره برای ما رندر کند. [۱۱]

به صورت کلی OpenGL را می‌توان یک ماشین حالت بزرگ درنظر گرفت. هر حالت شامل مجموعه‌ای از متغیرها است که نحوه‌ی عملکرد OpenGL را مشخص می‌کند. به مجموعه‌ی این حالت‌ها OpenGL context نیز می‌گویند. در واقع context را می‌توان یک شئ درنظر گرفت که کل OpenGL را دربر می‌گیرد. عموما تمامی تغییرات، روی context فعلی اعمال می‌شود و سپس رندر می‌شود. [۱۱][۱۲]

۲-۶-۲ سایه‌زنی فونگ

نورپردازی در دنیای واقعی بسیار پیچیده است و به عوامل بسیار زیادی بستگی دارد. با توجه به قدرت محدود پردازش، برای ما چنین امکانی وجود ندارد که رفتار آن را به صورت کامل تخمین بزنیم. بنابراین برای نورپردازی محیط‌های سه‌بعدی از تقریب واقعیت با استفاده از مدل‌های ساده‌شده‌ی فیزیکی استفاده می‌شود. یکی از این روش‌ها مدل نورپردازی فونگ نام دارد. این مدل بر اساس سه مولفه‌ی اصلی عمل می‌کند. این سه مولفه، نورمحیطی [2]، نور پخش‌شده [3] و نور آینه‌وار [4] نام دارند. [۱۳]

---

[1] API
[2] Ambient light
[3] Diffuse light
[4] Specular light

نورمحیطی

نور معمولا از یک منبع نور منفرد ساطع نمی‌شود، بلکه از منابع نوری زیادی که در اطراف ما پراکنده‌شده‌اند، حتی زمانی که به صورت مستقیم قابل مشاهده‌نیستند، نشات می گیرد. حتی زمانی که هوا تاریک است، معمولا هنوز مقداری نور در جایی در جهان وجود دارد. مانند ماه در هنگام شب. بنابراین اجسام تقریبا هرگز به صورت کامل تاریک نیستند. اگر بخواهیم چنین مولفه‌ای را به صورت واقعی مدل‌سازی کنیم، الگورتیمی بسیار پر هزینه خواهد بود. به همین جهت در مدل فونگ برای اینکه بتوانیم نور محیطی را در اجسام سه بعدی مشاهده کنیم، از یک رنگ ثابت کوچک نور استفاده می کنیم و آن را به رنگ نهایی هر شئ اضافه می کنیم. در این صورت به‌نظر می‌رسد که همیشه مقداری نور پراکنده در محیط سه‌بعدی وجود دارد. [۱۳]

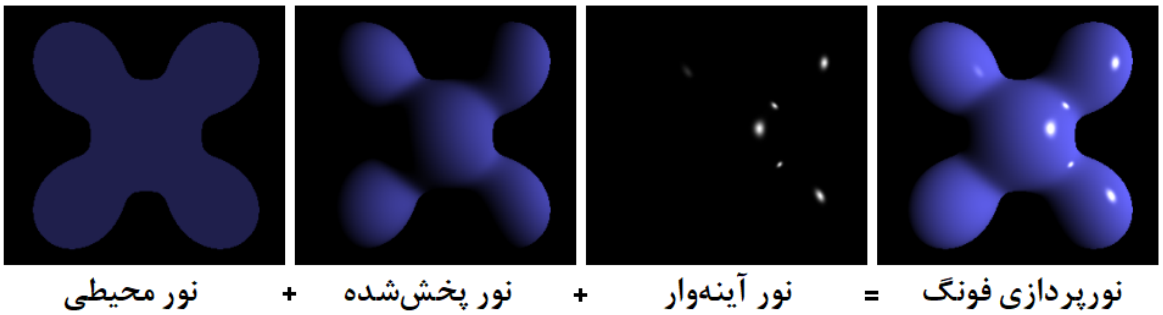
نور پخش‌شده

می‌دانیم هرچه جسم به یک منبع نور نزدیک تر باشد و هرچه بخشی از یک جسم بیشتر به سمت منبع نور باشد، بیشتر روشن می‌شود. این مولفه، تاثیر جهت قرار گیری اجسام نسبت به منبع نور را شبیه‌سازی می کند. [۱۳]

نور آینه‌وار

این مولفه وظیفه‌ی شبیه‌سازی نقطه‌ی روشن نوری که بر روی اجسام براق ظاهر می‌شوند، را دارد. جهت قرار گیری اجسام نسبت به جهت نور تاثیر زیادی بر نحوه‌ی شکل گیری و شمایل این نقطه‌ی روشن‌شده دارد. همچنین نحوه‌ی عملکرد نورپردازی آینه‌وار رابطه‌ی مستقیمی با جنس سطح و خواص بازتابی آن سطح دارد. هرچه سطح اجسام به جنس آینه‌ای نزدیک شود، نور بیشتری را بازتاب می دهد و بلعکس ممکن است جنس آن مانند گچی باشد که نور زیادی را جذب خود می کند. [۱۳]

در تصویر زیر می‌توانیم عملکرد تمامی این مولفه‌ها را در مدل فونگ مشاهده کنیم.



شکل ۲-۴ - مولفه‌های الگوریتم سایه‌زنی فونگ [۱۴]

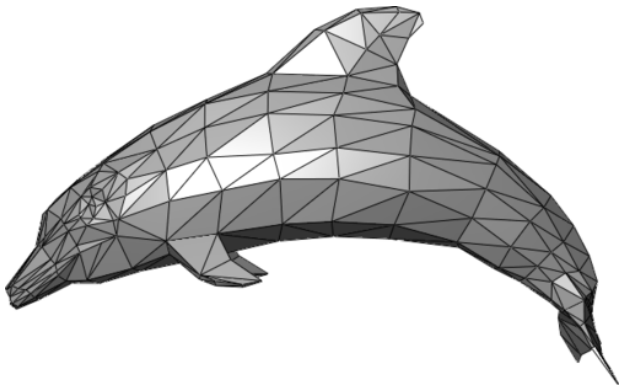
۲-۷ پویانمایی اسکلتی

در پویانمایی اسکلتی از مدل‌های اسکلتی استفاده می‌شود. هر مدل اسکلتی از دو بخش مدل و اسکلت تشکیل شده‌است. برای اینکه بتوانیم پویانمایی اسکلتی را متوجه شویم، نیاز داریم دانش اولیه‌ای نسبت به بعضی از تعاریف گرافیک کامپیوتری مانند "مش‌های چندضلعی"، "زیرمش"، "ماده" و "بافت" پیدا کنیم. در این بخش، ابتدا به این تعاریف می‌پردازیم. سپس به بررسی مدل اسکلتی پرداخته و پس از آن توضیحی از روش‌ها و تعاریف مربوط به پویانمایی اسکلتی را می‌آوریم.

۲-۷-۱ شبکه‌ی[1] چندضلعی

در گرافیک کامپیوتری سه‌بعدی و مدل‌سازی جامد، شبکه چندضلعی مجموعه‌ای از رئوس، لبه‌ها و وجوه است که شکل یک جسم چندوجهی را مشخص می‌کند. وجوه معمولاً از مثلث‌ها (شبکه مثلثی)، چهار ضلعی‌ها (چهار گوشه)، یا دیگر چند ضلعی‌های محدب ساده (n ضلعی‌ها) تشکیل شده‌اند. دلیل استفاده از این نوع چند ضلعی‌ها، آسان‌تر بودن به نمایش‌کشیدن آن‌ها در محیط سه‌بعدی است. البته در حالت کلی، اشیاء ممکن است از چندضلعی‌های مقعر و یا حتی چندضلعی‌های دارای سوراخ نیز تشکیل‌شده‌باشند.

اشیاء ایجادشده توسط مش‌های چند ضلعی باید انواع مختلفی از عناصر، از جمله رئوس، لبه‌ها، وجوه، چندضلعی‌ها و سطوح را در خود ذخیره کنند. در بسیاری از نرم‌افزارهای سه‌بعدی، فقط رئوس، لبه‌ها و یکی از دو مورد وجوه یا چندضلعی‌ها ذخیره می‌شوند. در اکثر سیستم‌های رندر [2] فقط از وجوه سه‌ضلعی (مثلث‌ها) استفاده می‌شود. بنابراین در این حالت چندضلعی‌های مدل، باید به شکل مثلث باشند. البته سیستم‌های رندر ای وجود دارند که از چهارضلعی‌ها یا چندضلعی‌های با تعداد اضلاع بالاتر نیز پشتیبانی می‌کنند و یا در لحظه این چندضلعی‌ها را به مجموعه‌ای از مثلث‌ها تبدیل می‌کنند که در این صورت باعث می‌شود نیازی به ذخیره‌ی مش به شکل مثلثی نباشد.



شکل ۲-۵ – نمایش یک دلفین به وسیله‌ی مش مثلثی[۱۵]

[1] Mesh
[2] renderer

بنابراین چهار قسمت اصلی یک مش چندضلعی، رئوس، لبه‌ها، وجوه و چندضلعی‌ها هستند. توضیح کوتاهی درباره‌ی هر کدام از این موارد را در زیر می‌توانیم مشاهده کنیم.

راس

راس‌ها معمولا یک موقعیت در فضای سه‌بعدی همراه با اطلاعات دیگر مانند رنگ، بردار نرمال و مختصات بافت را شامل می‌شوند. در راس‌های مربوط به مش‌های اسکلتی اطلاعاتی مانند تعداد مفاصلی که بر روی این راس تاثیر می‌گذارند همراه با وزن تاثیرگذاری آن‌ها، می‌تواند اضافه شود.

لبه

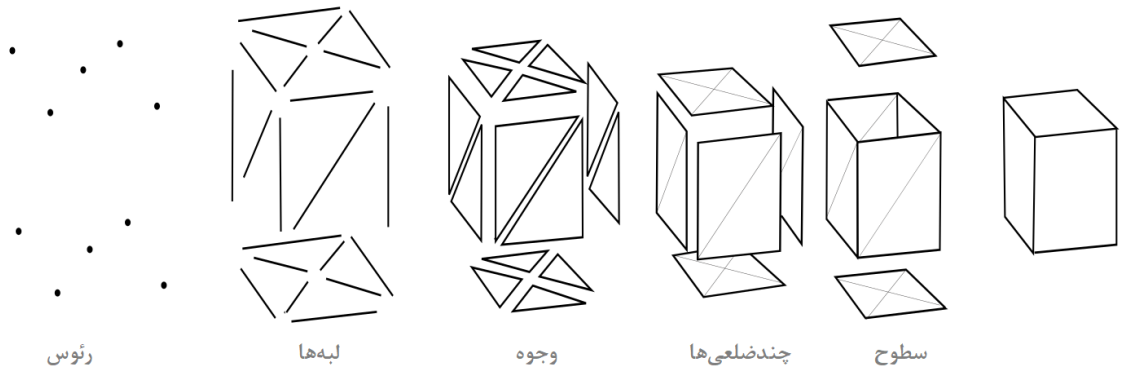
ارتباط بین دو راس را لبه گویند.

وجه

مجموعه‌ای بسته از لبه‌ها را وجه گویند. وجوه می‌توانند از سه لبه (وجه مثلثی) یا از چهار لبه (وجه چهارگوش) تشکیل شوند.

چندضلعی

یک چندضلعی مجموعه‌ای همسطح از وجوه است. در سیستم‌هایی که از وجه‌های چند ضلعی پشتیبانی می‌کنند، وجوه و چندضلعی‌ها یکسان هستند ولی در صورتی که سیستم مورد نظر تنها از سه یا چهار ضلعی‌ها پشتیبانی کند، در این صورت به چند ضلعی‌ها، مجموعه‌ای از وجوه گفته می‌شود.



شکل ۲-۶ - عناصر یک مش‌چندضلعی[۱۵]

۲-۷-۲ مدل

مدل [۱] درواقع هر شئ‌ای است که در محیط سه‌بعدی قرار می‌گیرد و به تصویر کشیده می‌شود. هر مدل می‌تواند از چند زیرمش تشکیل شود. به عنوان مثال یک ماشین را درنظر بگیریم. موجودیت ماشین می‌تواند یک مدل باشد که در محیط سه‌بعدی قرار می‌گیرد. مدل ماشین می‌تواند از چند زیرمش مانند چرخ‌ها، لاستیک‌ها و بدنه‌ی ماشین تشکیل شود. دلیل وجود داشتن یک موجودیت کلی به اسم ماشین این است که یک شخصی مانند طراح محیط و یا طراح مرحله نمی‌خواهد هر بار که ماشینی را در محیط قرار دهد، تک تک زیرمش‌ها را به صورت دستی در صحنه وارد کند و در سر جای خودش قرار بدهد بلکه می‌خواهد یک موجودیت، در اینجا ماشین، را در صحنه قرار دهد.

۲-۷-۳ زیرمش [۲]

چندضلعی‌های دارای یک نوع ماده [۳] را یک زیرمش گویند. همانطور که اشاره شد، هر مدل از چند زیرمش تشکیل می‌شود. دلیل این تقسیم این است که در هر عملیات به تصویر کشیدن [۴] تنها یک ماده می‌تواند به تصویر کشیده شود. مثلا در مثال ماشین، قسمت‌های مختلف ماشین از ماده‌های مختلفی تشکیل می‌شوند. به طور مثال چرخ ماشین می‌تواند از جنس آلومینیوم باشد، لاستیک چرخ از جنس پلاستیک باشد و یا حتی قسمت‌های داخلی ماشین مانند صندلی ماشین، از جنس چرم باشد. بنابراین باید این قسمت‌ها به صورت جدا قرار گیرند تا بتوان هر قسمت را با توجه به ماده‌ی موردنظر آن به تصویر کشاند.

شکل ۲-۷- اجزاء مختلف ماشین[۱۶]

[۱] گاهی به جای استفاده از واژه‌ی مدل، از واژه‌ی مش هم استفاده می‌شود.

[2] Sub-Mesh
[3] Material
[4] Render

۲-۷-٤ ماده [1]

ماده‌ها شامل پارامترهای قابل تنظیمی هستند که با تنظیم آن‌ها، به کارت گرافیک اعلام می‌شود که چگونه باید یک مثلث را به تصویر بکشد. این پارامترها می‌توانند شامل موارد زیر باشند ولی محدود به آن نمی‌شوند

۱. میزان کدورت و شفافیت شئ
۲. میزان براقی شئ
۳. رنگ(بافت) شئ
۴. سایه‌زنی پیکسلی یا راسی [2]

شکل ۲-۸ - چند نوع ماده‌ی مختلف[۱۷]

۲-۷-۵ بافت [3]

بافت یک تصویر دوبعدی و یا سه‌بعدی است که می‌تواند در ماده استفاده شود. این تصاویر به عنوان ورودی در برنامه دریافت شده و پس از اینکه یک شناسه به آن ها تخصیص داده شد، در کارت گرافیک قرار می‌گیرند. ماده‌ها با استفاده از این شناسه می‌توانند در صورت لزوم به این بافت‌ها دستیابی پیدا کنند.

[1] Material
[2] Vertex or Pixel shader
[3] Texture

شکل ۲-۹ - چند نوع بافت مختلف[۱۸]

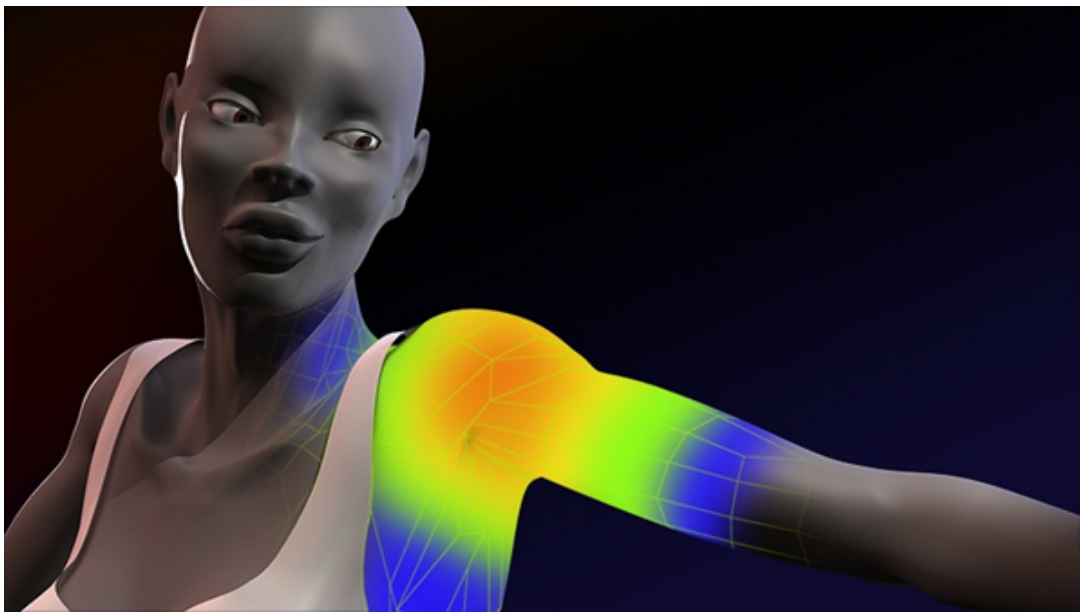
۲-۷-۶ اسکلت

به مجموعه ای از مفاصل که به صورت سلسله مراتبی به یکدیگر متصل می‌شوند، اسکلت گویند. پس از آنکه هنرمندان مدل شخصیت را طراحی می‌کنند، در طی یک مرحله که به آن Rigging گویند، ساختار سلسله مراتبی اسکلت را به وجود می‌آورند. در پویانمایی اسکلتی درواقع این اسکلت است که حرکت می‌کند و با حرکتش باعث حرکت مدل شخصیت می‌شود.

شکل ۲-۱۰ - در سمت راست مش شخصیت و سمت چپ اسکلت شخصیت قابل مشاهده است.[۱۹]

۲-۷-۷ Skinning

تا اینجا با دو مفهوم مدل و اسکلت آشنایی پیدا کردیم ولی نگفتیم که این دو چگونه به هم مرتبط می‌شوند. به عملیاتی که طی آن مفاصل موجود در اسکلت به مدل متصل می‌شود skinning گویند. طی این مرحله هر راس موجود در پوسته‌ی مش به یک یا چند مفصل متصل می‌شود. برای اینکه چگونه رئوس مش، این مفاصل را دنبال کنند الگوریتم‌های مختلفی مطرح شده‌است که در فصل پیاده‌سازی به یکی آن‌ها اشاره خواهد شد.



شکل ۲-۱۱ – عکس نشان‌دهنده‌ی میزان تعلق رئوس اطراف مفصل شانه است. هرچه راس به مفصل نزدیک تر باشد، تعلق بیشتری به آن دارد(رنگ قرمز تری می‌گیرند).[۲۰]

۲-۷-۸ ژست شخصیت

ژست یک شخصیت نشان‌دهنده‌ی نحوه‌ی قرارگیری مفصل‌ها در اسکلت است. ژست‌های مختلف با دروان، حرکت یا تغییر اندازه‌ی مفاصل درون اسکلت به وجود می‌آیند. همانگونه که اشاره شد، اسکلت یک مدل در مرحله‌ی Rigging به وجود می‌آید و در همین مرحله با استفاده از Skinning به مدل متصل می‌شود. زمانی که این عمل صورت می‌گیرد مدل در یک ژست به خصوص قرار دارد که به آن ژست حالت اتصال [۱] یا ژست مرجع [۲] گویند. به صورت کلی شخصیت در این حالت به صورتی ایستاده‌است که پاهایش کمی از هم باز است و بازوهایش به شکل حرف T کشیده است. به همین جهت گاهی به ژست حالت اتصال، ژست T [۳] هم گفته می‌شود. دلیل انتخاب این ژست خاص دور نگه‌داشتن اندام‌ها از بدن است که باعث می‌شود فرایند اتصال رئوس به مفاصل آسان‌تر شود.

[1] Bind Pose
[2] Reference Pose
[3] T Pose

همانگونه که اشاره‌شد مفاصل به صورت سلسله مراتبی به یکدیگر متصل هستند. یعنی نحوه‌ی قرارگیری آن‌ها متناسب با نحوه‌ی قرارگیری والدشان است. این کار باعث می‌شود که مفاصل به صورت طبیعی حرکت کنند. یعنی در صورتی که والد حرکت کند، به واسطه‌ی آن فرزند نیز حرکت می‌کند. زمانی که ژست شخصیت در این حالت والد، فرزندی قرار دارد به آن ژست محلی [۱] گفته می‌شود. حالت دیگری نیز وجود دارد که موقعیت هر مفصل نسبت به فضای مختصاتی مدل درنظر گرفته می‌شود. به ژست شخصیت در این حالت ژست جهانی [۲] گفته می‌شود.

۲-۷-۹ کلیپ‌های پویانمایی

در یک فیلم پویانمایی‌شده، تمام بخش‌های یک صحنه قبل از ساخت هر کلیپ پویانمایی به دقت برنامه‌ریزی می‌شود. این شامل حرکات هر شخصیت، لوازم موجود در صحنه و حتی حرکات دوربین نیز می‌شود. این بدان معنی است که کل صحنه را می‌توان به عنوان یک دنباله طولانی و پیوسته از فریم‌ها، متحرک ساخت. در این حالت در صورتی که شخصیت‌ها خارج از دوربین باشند لازم نیست که متحرک شوند.

کلیپ‌های پویانمایی مربوط به بازی‌های کامپیوتری، متفاوت از این هستند. یک بازی، یک تجربه‌ی تعاملی است بنابراین نمی‌توان از قبل چگونه حرکت کردن شخصیت‌ها و رفتار آن‌ها را پیش‌بینی کرد. حتی تصمیمات شخصیت‌های غیربازیکن کامپیوتری نیز می‌توانند تابعی از اقدامات غیر قابل پیش‌بینی بازیکن انسانی باشد. به این ترتیب، کلیپ‌های پویانمایی مربوط به بازی تقریبا هیچ‌گاه از مجموعه‌ای از فریم‌های طولانی و به هم پیوسته تشکیل نمی‌شوند. درعوض، حرکت شخصیت بازی باید به تعداد زیادی حرکات ریز تقسیم شود. منظور از کلیپ‌های پویانمایی این حرکات کوتاه و یکتا است.

بنابراین هر کلیپ به صورتی طراحی شده است که یک عمل کاملا مشخص را انجام دهد. برخی از این کلیپ‌ها به گونه‌ای طراحی شده اند که بتوان آن را به صورت حلقه شونده تکرار کرد. به عنوان مثال چرخه‌ی راه‌رفتن یا دویدن می‌توانند از این نوع کلیپ‌ها باشند و حرکاتی مانند پریدن یا دست تکان دادن از نوعی هستند که تنها یک‌بار پخش می‌شوند.

بنابراین به طور کلی حرکات هر شخصیت بازی معمولا به هزاران کلیپ تقسیم می‌شود. [۷]

۲-۷-۱۰ ترکیب کلیپ‌های پویانمایی

اصطلاح ترکیب کلیپ‌ها به هر تکنیکی اطلاق می‌شود که در آن بیش از یک کلیپ پویانمایی در ژست نهایی کاراکتر سهیم می‌شود. به صورت دقیق تر در این عمل دو یا چند ژست برای ایجاد یک ژست خروجی برای اسکلت

[1] Local Pose
[2] Global Pose

شخصیت، با یکدیگر ترکیب می‌شوند. همانطور که در بخش قبل گفته شد، کلیپ‌های پویانمایی، کلیپ‌های کوتاه و یکتایی هستند. با استفاده از روش ترکیب می‌توان مجموعه‌ای از کلیپ‌های پویانمایی را با یکدیگر ترکیب کرد تا مجموعه‌ی جدیدی از کلیپ‌های پویانمایی را بدون نیاز به ایجاد دستی و از پایه‌ی آن‌ها تولید کنیم.

به عنوان مثال، با ترکیب یک کلیپ راه رفتن آسیب دیده با راه رفتن بدون آسیب دیدگی، می‌توانیم سطوح مختلفی از آسیب دیدگی در هنگام راه‌رفتن را به وجود آوریم. از ترکیب می‌توان برای درون‌یابی بین حالات مختلف چهره، حالت‌های مختلف بدن و حالت‌های مختلف حرکتی استفاده کرد. علاوه بر این می‌توان از آن برای یافتن یا حالت میانی بین دو حالت شناخته شده در زمان‌های مختلف نیز استفاده کرد. این کار زمانی استفاده می‌شود که بخواهیم ژست یک شخصیت را در نقطه‌ای از زمان پیدا کنیم که دقیقا با یکی از فریم‌های نمونه موجود در داده‌های کلیپ پویانمایی مطابقت ندارد. همچنین می‌توانیم از ترکیب موقتی پویانمایی برای انتقال هموار از یک کلیپ به کلیپ دیگر، با ترکیب تدریجی کلیپ پویانمایی مبدا به مقصد در مدت زمان کوتاهی استفاده کنیم.

فصل سوم
سیستم گراف پویانمایی در موتور بازی‌سازی آنریل

موتور آنریل مجموعه کاملی از ابزارهای تولید محتوا برای توسعه‌ی بازی، مصورسازی معماری و خودرو، ایجاد محتوا برای فیلم و تلوزیون، پخش رویدادهای زنده، آموزش، شبیه‌سازی و سایر برنامه‌های بلادرنگ است.

این موتور برای اولین بار برای توسعه‌ی بازی "غیرواقعی" در سال ۱۹۹۸ توسعه پیدا کرد. پس از آن نسخه‌های متعددی از این موتور منتشر شده است. [۸]

موتور آنریل مانند تمامی موتورهای بازی‌سازی دارای مولفه‌های فراوانی است که برای تولید بازی به کار می‌رود. مولفه‌های پویانمایی، هوش مصنوعی، رندر، رابط کاربری تنها تعداد اندکی از مولفه‌هایی است که می‌توان در آنریل استفاده کرد.

آنریل طیف گسترده‌ای از ابزارهای قدرتمند را برای مدیریت شخصیت‌ها، ایجاد محتوای سینمایی و پویانمایی را ارائه می‌دهد. با استفاده از سیستم پویانمایی مش اسکلتی، کاربران می‌توانند شخصیت‌ها، اسکلت‌ها و کلیپ‌های پویانمایی وارد شده خود را مدیریت کنند. سپس این محتوا می‌تواند برای ایجاد گیم‌پلی تعاملی پویا شده با استفاده از ویژگی‌های مختلف مانند فضاهای ترکیبی [۱]، طرح‌های پویانمایی [۲] و ماشین‌های حالت [۳] استفاده شود. سکانس‌های سینمایی را

[1] Blend Spaces
[2] Animation Blueprint
[3] State Machines

می‌توان با استفاده از ابزار Sequencer ایجاد کرد. با استفاده از این ابزار می‌توان دوربین‌ها و شخصیت‌ها را متحرک ساخت. پویانمایی شخصیت‌ها را می‌توان با استفاده از Control Rig که ابزار داخلی موتور آنریل است، انجام داد. با استفاده از این ابزار می‌توان ریگ‌های مناسبی ساخت تا درون Sequencer شخصیت را متحرک ساخت. [۲۱]

همانطور که مشخص است، سیستم پویانمایی موجود در موتور آنریل بسیار گسترده است. در این پروژه قسمت طرح پویانمایی آنریل که به گراف پویانمایی نیز شناخته می‌شود بررسی می‌شود.

برای اینکه بتوانیم در مورد سیستم گراف پویانمایی آنریل توضیح دهیم، ابتدا لازم است توضیحاتی را درباره‌ی نحوه‌ی معماری این انجین بیاوریم. بنابراین در این بخش ابتدا توضیح کوتاهی درباره‌ی معماری آنریل با محوریت نحوه‌ی رابطه‌ی اشیا با یکدیگر داده و پس از آن به بررسی ویژگی‌های سیستم گراف پویانمایی می‌پردازیم.

۳-۱ بازیگران، پیاده‌ها و شخصیت‌ها

اشیا در آنریل به سه کلاس کلی بازیگران [۱]، پیاده‌ها [۲] و شخصیت‌ها [۳] دسته‌بندی می‌شوند.

بازیگران کلاس پایه‌ی تمامی اشیا ای هستند که به صورت فیزیکی می‌توانند در محیط سه‌بعدی قرار گیرند. پیاده‌ها کلاسی مشتق شده از بازیگران هستند که بازیکنان می‌توانند کنترل آن‌ها را بدست گیرند و در محیط حرکت کنند. در نهایت شخصیت‌ها پیاده‌هایی هستند که دارای مش اسکلتونی، توانایی شناسایی برخورد و منطق حرکتی هستند. آنها مسئول تمام تعاملات فیزیکی بین بازیکن یا هوش مصنوعی، با جهان هستند و همچنین مدل های اولیه شبکه و دریافت ورودی را پیاده سازی می کنند. اگر بخواهیم شخصیت درون بازی از پویانمایی اسکلتونی استفاده کند، باید از این کلاس بهره ببریم.

۳-۲ اجزاء

اجزاء [۴] مجموعه‌ای از توابع و ویژگی‌ها است که می‌تواند به یک بازیگر اضافه شود. بنابراین بازیگران می‌توانند حاوی مجموعه‌ای از ActorComponents باشند که این اجزاء می‌توانند برای موارد مختلفی از جمله کنترل نحوه‌ی حرکت بازیگران، نحوه‌ی رندر شدن و غیره استفاده شوند.

زمانی که یک مولفه به یک بازیگر اضافه می‌شود، آن بازیگر می‌تواند عملکردهای موجود در آن مولفه را استفاده کند. به عنوان مثل یک مولفه نور نقطه‌ای باعث می‌شود که بازیگر مانند یک نور نقطه‌ای، نور ساطع کند. یا یک مولفه صوتی به بازیگر این توانایی پخش صدا را می‌دهد.

---
[1] Actors
[2] Pawns
[3] Characters
[4] Components

مولفه‌ها حتما باید به یک بازیگر متصل شوند و به خودی خود نمی‌توانند وجود داشته باشند. درواقع وقتی ما مولفه‌های مختلف را به بازیگر خود متصل می‌کنیم، در حال قرار دادن قطعه‌ها و تکه‌هایی هستیم که مجموع آن‌ها یک بازیگر را به عنوان یک موجودیت واحد که در محیط سه‌بعدی قرار می‌گیرد، تعریف می‌کنند. به عنوان مثال چرخ‌های یک ماشین، فرمان ماشین، چراغ‌ها و غیره همه به عنوان مولفه‌های ماشین درنظر گرفته می‌شوند در حالی که خود آن ماشین، بازیگر است.

۳-۳ شخصیت‌ها

هر شخصیت در آنریل از سه مولفه‌ی اصلی تشکیل شده است.

- Skeletal Mesh Component
- Character Movement Component
- Capsule Component

مولفه‌ی Skeletal mesh Component شامل طرح پویانمایی شخصیت است. طرح پویانمایی، سیستم پویانمایی شخصیت است که جلوتر آن را توضیح می‌دهیم.

مولفه‌ی Character Movement Component همانطور که از اسمش مشخص است برای منطق حرکت در حالت‌های مختلف از جمله راه‌رفتن، افتادن و غیره استفاده می‌شود. این مولفه شامل تنظیمات و عملکردهای مربوطه برای کنترل حرکت است.

و در نهایت مولفه‌ی Capsule Component وظیفه‌ی تشخیص برخورد در هنگام حرکت را دارد.

۳-٤ مولفه‌ی مش اسکلتی

این مولفه، مولفه‌ای است که به شخصیت امکان پویا شدن را می‌دهد. این کلاس برای ساختن یک نمونه از کلاس SkeletalMesh است که بر روی آن کلیپ‌های پویانمایی اجرا می‌شوند. اینکه چه کلیپ پویانمایی بر روی آن اجرا شود از طریق کلاس AnimInstance که همان طرح پویانمایی [1] است، انتخاب می‌شود.

همانطور که در فصل گذشته اشاره شد، مش اسکلتی شامل یک هندسه‌ی چندضلعی است که به یک اسکلت که در واقع سلسله مراتبی از مفاصل است، متصل است و این اسکلت می‌تواند به منظور تغییر شکل آن هندسه‌ی چندضلعی یا مش، متحرک شود.

مش‌های اسکلتی از دو قسمت ساخته‌شده‌اند. مجموعه‌ای از چندضلعی‌ها که به منظور تشکیل سطح مش با یکدیگر

[1] Animation Blueprint

ترکیب می‌شوند و یک اسکلت سلسله‌مراتبی که می‌تواند برای متحرک‌سازی چندضلعی‌ها استفاده شود. مدل‌های سه‌بعدی، اسکلت و کلیپ‌های پویانمایی در یک برنامه مدل‌سازی و ایجاد پویانمایی مانند Maya، 3DSMax و ابزارهای مدل‌سازی دیگر ایجاد می‌شوند.

در آنریل کلاس SkeletalMesh وظیفه‌ی نگهداری این مش اسکلتی را دارد.

همانگونه که گفتیم، نیاز داریم تا یک سیستمی داشته باشیم که بتواند کلیپ‌های پویانمایی را بر روی این مش اسکلتی اجرا کند. به زبانی دیگر، این مش اسکلی را پویا و متحرک سازد. در آنریل کلاس AnimInstance وظیفه‌ی این عمل را دارد.

۳-۵ طرح پویانمایی

طرح پویانمایی یک طرح تخصصی است که پویانمایی یک مش اسکلتی را کنترل می‌کند. با ویرایش گراف‌های موجود در این طرح، میتوان کارهای مختلفی را روی پویانمایی شخصیت انجام داد. به عنوان مثال می‌توان کلیپ‌های مختلف را با یکدیگر ترکیب کرد، مستقیما مفاصل درون اسکلت را کنترل کرد و یا هر تنظیمات منطقی‌ای که باعث تعریف ژست نهایی شخصیت در فریم فعلی می‌شود را انجام داد.

دو جزء اصلی در طرح پویانمایی وجود دارد که با هم کار می‌کنند تا ژست نهایی شخصیت را برای هر فریم ایجاد کنند. این دو مولفه، گراف رویداد و گراف پویانمایی نام دارند.

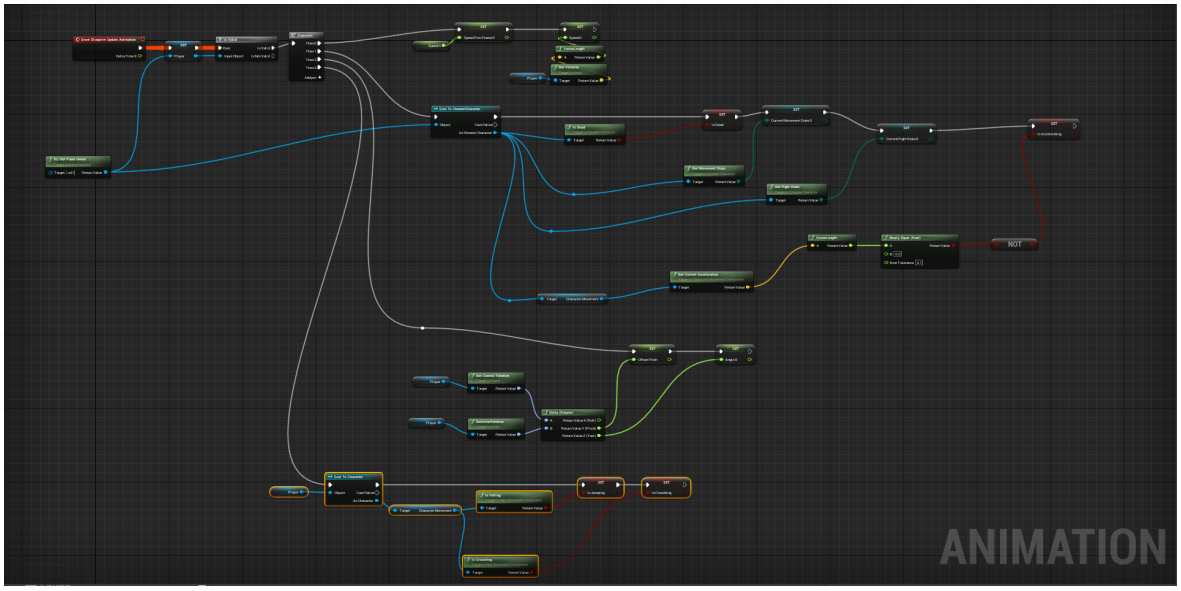
به صورت کلی گراف رویداد مقادیری را که در گراف پویانمایی استفاده می‌شوند را به‌روزرسانی می‌کند تا در ماشین‌های حالت، فضاهای ترکیب و بقیه‌ی گره‌هایی که در گراف پویانمایی استفاده می‌شوند، به کار روند.

۳-۶ گراف رویداد

درون هر طرح پویانمایی، یک گراف رویداد وجود دارد. این گراف برای دریافت مقادیر منطقی از بخش گیمپلی و منطق بازی به‌کار می‌رود. به عنوان مثال اینکه شخصیت می‌خواهد به چه سمتی حرکت کند، یا اینکه چه سرعتی دارد را از طریق این گراف در متغیرهایی که تعریف می‌کنیم، ذخیره می‌کنیم. [۲۲]

۳-۷ گراف پویانمایی

گراف پویانمایی برای ارزیابی ژست نهایی مش اسکلتی در فریم فعلی استفاده می‌شود. به صورت کلی هر طرح پویانمایی دارای یک گراف پویانمایی است که این گراف شامل گره‌های مختلفی است که هر کدام از این گره‌ها استفاده‌های متفاوتی دارند. به عنوان مثال می‌توان از این گره‌ها برای نمونه‌برداری



شکل ۳-۱ – نمونه‌ای از یک گراف رویداد

از دنباله‌های کلیپ‌های پویانمایی، انجام ترکیب‌های بین کلیپ‌ها یا کنترل تبدیل‌های مربوط به مفاصل استفاده کرد. سرانجام ژست نهایی بدست آمده روی مش اسکلتی در پایان هر فریم اعمال می‌شود.

۳-۸ گره‌های گراف پویانمایی

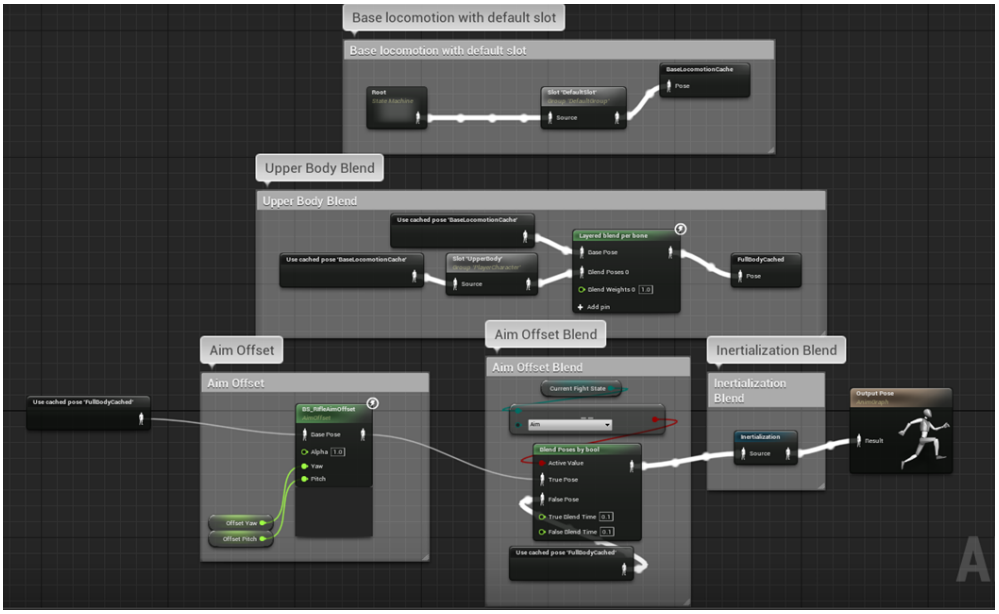
گراف پویانمایی با ارزیابی گره‌های موجود در گراف، عمل می‌کند. بعضی از گره‌های موجود در گراف، عملیات‌های خاصی را بر روی یک یا چند ژست ورودی انجام می‌دهند، در حالی که برخی دیگر برای دسترسی یا نمونه‌برداری از انواع دیگری از دارایی‌ها مانند فضاهای ترکیب [۱]، مونتاژهای پویانمایی [۲] و دنباله‌های پویانمایی [۳] استفاده می‌شوند. ماشین‌های حالت نیز که حاوی شبکه‌ی نموداری خودشان هستند، می‌توانند به صورت تنهایی یا با ترکیب با یکدیگر در گراف پویانمایی استفاده شوند.

در این بخش ابتدا با نحوه‌ی جریان اجرا در گراف پویانمایی آشنا می‌شویم، سپس ساختار کلی گره‌های موجود را بررسی کرده و در نهایت به بررسی انواع گره‌های موجود در گراف پویانمایی می‌پردازیم.

۳-۹ ساختار گره‌های گراف پویانمایی

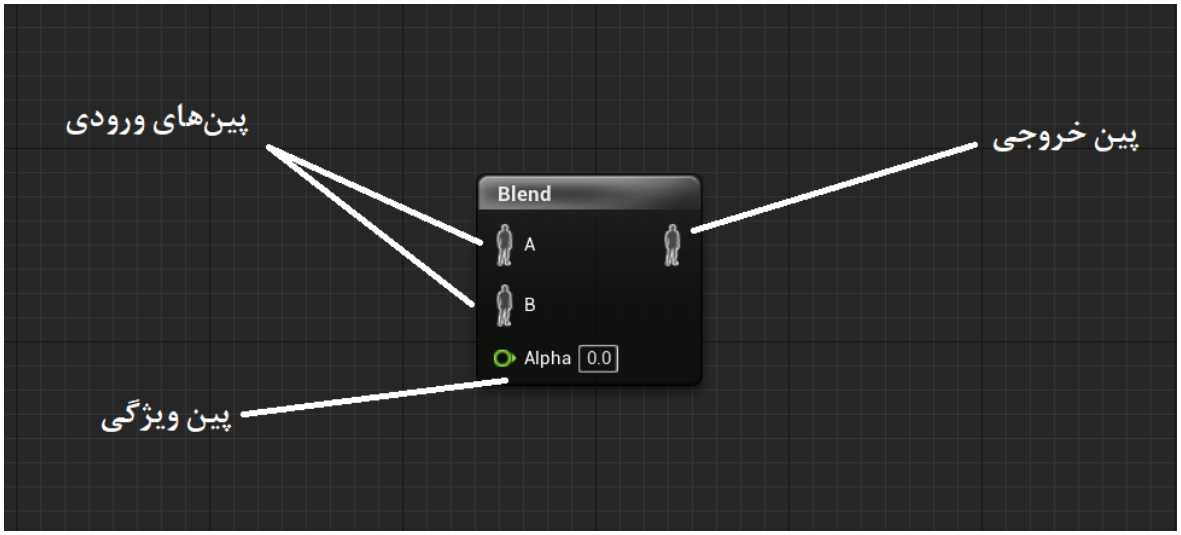
گره‌ها می‌توانند شامل چند پین ورودی که درواقع ژست‌های ورود هستند، باشند. به صورت کلی پین‌ها شامل یک خروجی هستند که این خروجی نشان‌دهنده‌ی ژست شخصیت پس از انجام عملیات‌های مربوط به آن پین است.

[1] Sampling
[1] Blend Spaces
[2] Animation Montages
[3] Animation Sequence



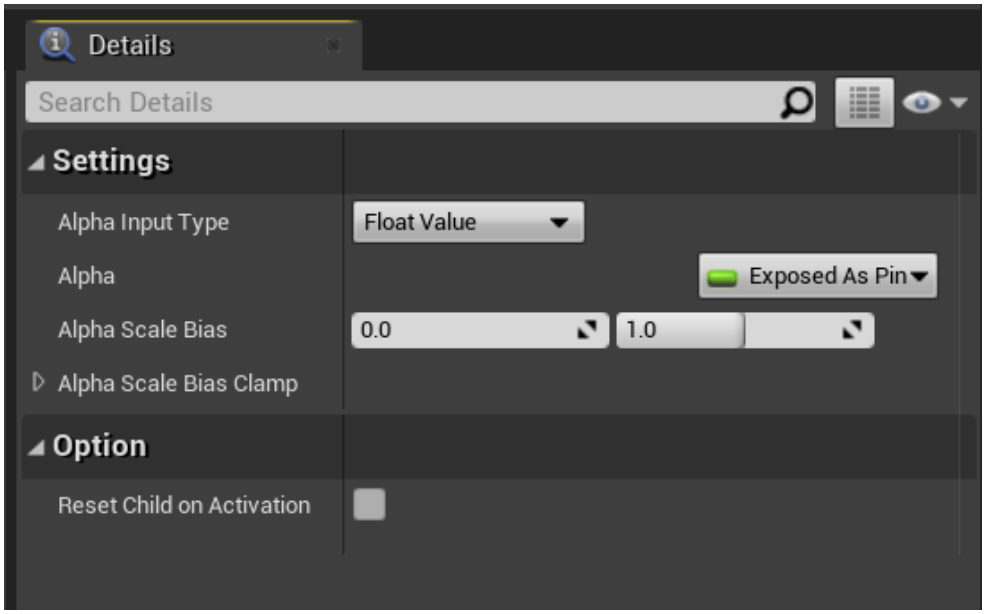
شکل ۳-۲ - نمونه‌ای از یک گراف پویانمایی

همچنین می‌توانند شامل پین‌های ویژگی باشند. مقادیر این پین‌های ویژگی از متغیرهایی که در گراف رویداد تعریف و مقداردهی شده‌اند، می‌توانند بدست آیند.



شکل ۳-۳ - ساختار کلی گره‌های موجود در گراف پویانمایی

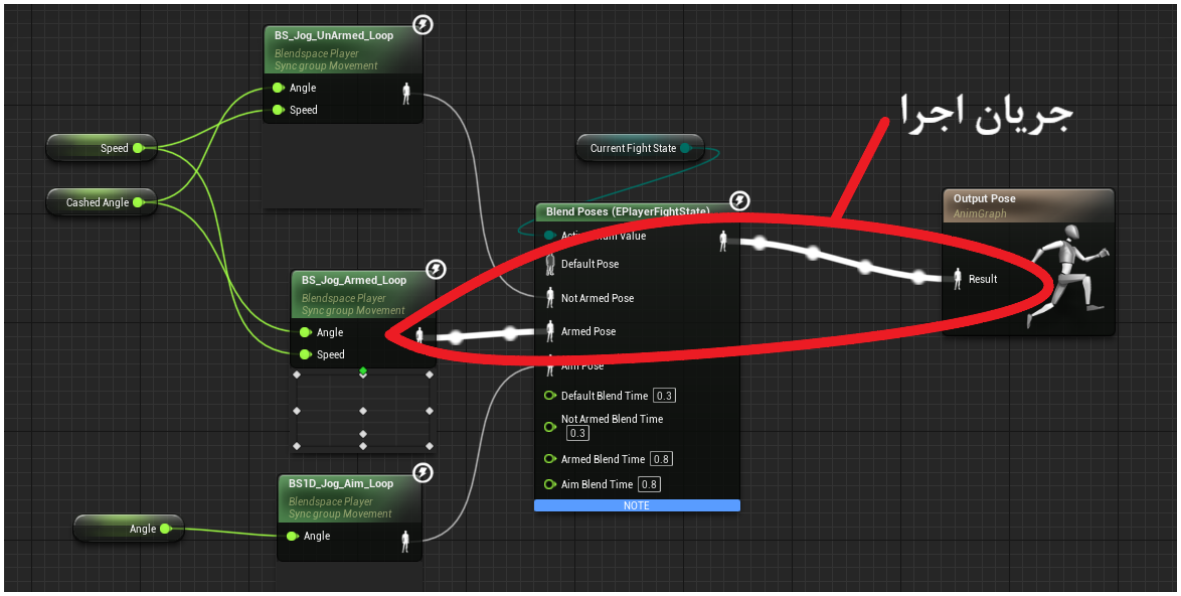
قابل ذکر است با انتخاب هر گره می‌توان به پنل جزئیات آن هم دسترسی پیدا کرد که به وسیله‌ی آن می‌توان تنظیمات لازم را بر روی آن گره انجام داد.



شکل ۳-۴ – پنل تنظیمات گره‌ی ترکیب

۳-۱۰ جریان اجرا در گراف پویانمایی

تمامی گراف‌ها دارای یک جریان اجرا هستند که به صورت پیوندهای ضربانی میان ورودی و خروجی پین‌ها قابل مشاهده هستند. این جریان‌ها درواقع نحوه‌ی حرکت داده را در گراف ترسیم می‌کنند. در گراف پویانمایی، این جریان نشان‌دهنده‌ی ژست‌هایی است که از یک گره به گره‌ی دیگر منتقل می‌شود. در برخی از گره‌ها مانند گره‌ی ترکیب، ورودی‌های متعددی وجود دارند و به صورت درونی با مقادیری که در متغیرها داریم تصمیم می‌گیرند که کدام یک از ورودی‌ها در حال حاضر بخشی از جریان اجرا است.



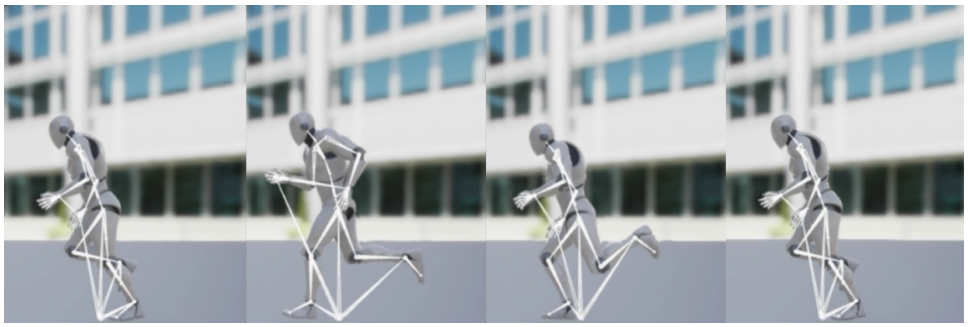
شکل ۳-۵ – نمونه‌ای از جریان اجرا

[۲۳]

۳-۱۱ دنباله‌ی پویانمایی

کلیپ‌های پویانمایی در آنریل به اسم دنباله‌ی پویانمایی شناخته می‌شوند. دنباله‌ی پویانمایی یک دارایی پویانمایی است که حاوی داده‌های پویانمایی است که می‌تواند روی یک مش اسکلتی پخش شود تا شخصیت مربوط به آن اسکلت را متحرک سازد. یک دنباله‌ی پویانمایی شامل فریم‌های کلیدی هستند که این فریم‌های کلیدی بیانگر موقعیت [۱]، دوران [۲]، مقیاس [۳] اسکلت مش در نقطه‌ی خاصی از زمان است. بنابراین کلیپ‌های پویانمایی یکی از گره‌های مهم در گراف انیمشن حساب می‌آیند.

قابل ذکر است این گره مانند بقیه‌ی گره‌ها دارای تنظیماتی است که در پنل تنظیمات قابل مشاهده هستند. به عنوان مثال می‌توان سرعت حرکت کلیپ را در این تنظیمات مشخص کرد یا اینکه کلیپ به صورت حلقه‌وار تکرار شود یا خیر.



شکل ۳-۶ - نمونه‌ای از گره‌ی دنباله‌ی پویانمایی

۳-۱۲ فضای ترکیب

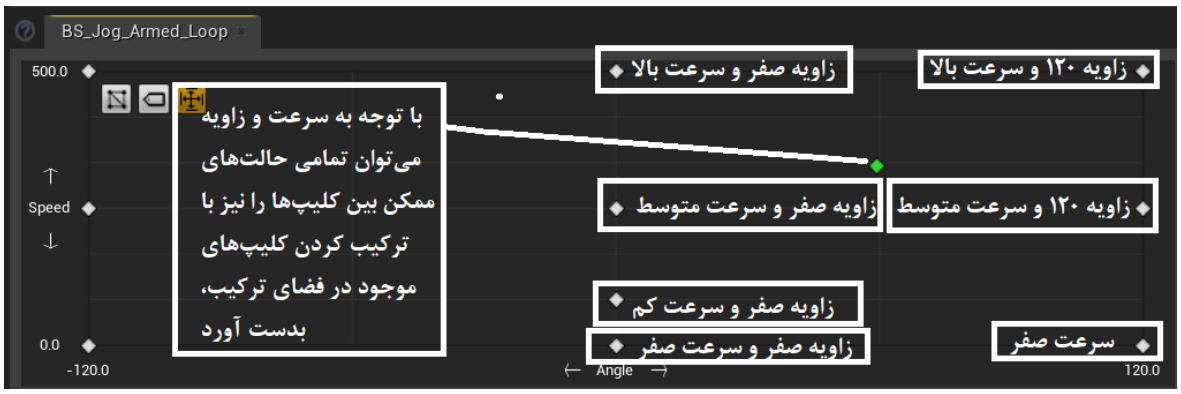
فضای ترکیب یک دارایی به خصوص است که امکان ترکیب کلیپ‌های پویانمایی بر اساس مقدار مختلف ورودی را دارد.

به عنوان مثال فرض کنیم که چند کلیپ داریم که وضعیت حرکت شخصیت را مشخص می‌کنند. این کلیپ‌ها می‌توانند به حالت ایستاده، حرکت با سرعت کم، حرکت با سرعت متوسط و حرکت با سرعت سریع تقسیم شوند. علاوه بر این‌ها می‌توان این پویانمایی‌ها را برای جهت‌های مختلف داشت. در این صورت می‌توان یک فضای ترکیب داشت که بر اساس دو ورودی، سرعت و جهت عمل می‌کند. و می‌توان هرکدام از این کلیپ‌ها را در جای مشخص

[1] Position
[2] Rotation
[3] Scale

خودش (با توجه به سرعت و جهت) قرار داد.

درجلوتر اشاره می‌شود که می‌توان کلیپ‌ها را با استفاده از گره‌ی ترکیب نیز، با یکدیگر ترکیب نمود. فضای ترکیب، ابزاری برای انجام ترکیب‌های پیچیده‌تر بین کلیپ‌های پویانمایی متعدد بر اساس مقادیر متفاوت است. هدف این گره، کاهش نیاز به ایجاد گره‌های منفرد در هنگامی که می‌خواهیم ترکیب بر اساس ویژگی‌ها یا شرایط خاصی صورت گیرد، است.



شکل ۳-۷ – در این فضای حالت، سرعت بین ۰ تا ۵۰۰ متغیر است و زاویه بین –۱۲۰ تا ۱۲۰ متغیر است.(در شکل به صورت کمی نوشته‌شده‌است) در کل از ۱۰ کلیپ پویانمایی شده (نقاط سفیدرنگ در تصویر) ولی با استفاده از ترکیب بین این کلیپ‌ها می‌توان تمامی مقادیر بین کلیپ‌ها را نیز بدست آورد.

۳-۱۳ گره‌های ترکیب

گره‌های ترکیب برای ترکیب چندین کلیپ پویانمایی با یکدیگر استفاده می‌شوند. این گره‌ها تنها مختص گراف پویانمایی هستند و در گراف‌های دیگر مانند گراف رویداد نمی‌توان از آن‌ها استفاده کرد. به صورت کلی هر کدام از این نوع گره‌ها دارای چند پین ورودی و یک آلفا یا وزن است که برای محاسبه‌ی وزن هرکدام از ژست‌های ورودی در ژست خروجی به کار می‌رود. بعضی از این گره‌ها می‌توانند پیچیده‌تر نیز باشند و نیاز به داده‌های بیشتری به عنوان ورودی باشند.

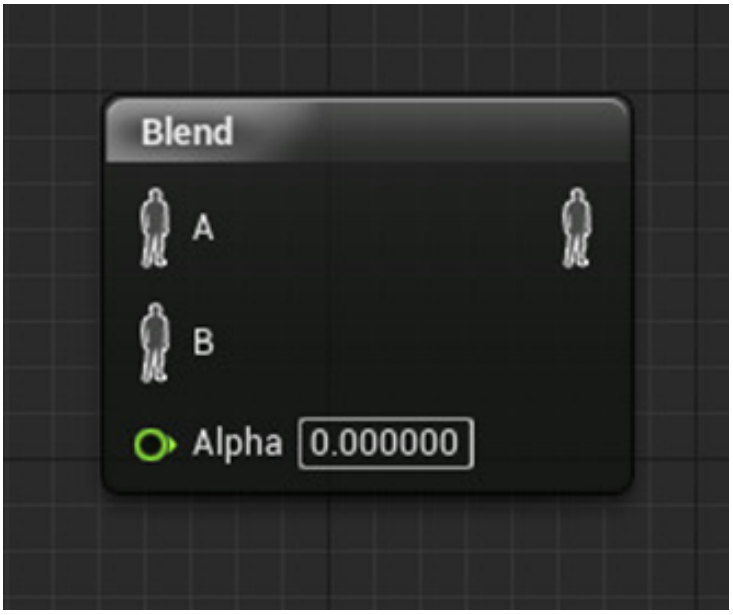
در ادامه به بررسی چند نمونه از گره‌های ترکیب می‌پردازیم.

۳-۱۳-۱ گره‌ی ترکیب استاندارد

این گره برای ترکیب‌کردن دو ژست ورودی با گرفتن یک آلفا عمل می‌کند. اگر ژست‌های ورودی را A و B و خروجی نهایی را Output در نظر بگیریم، خروجی به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$Output = A * (1 - alpha) + B * alpha \quad (۱-۳)$$

[۲۴]



شکل ۳-۸- گره‌ی ترکیب

۳-۱۳-۲ گره‌ی ترکیب بر اساس یک مقدار

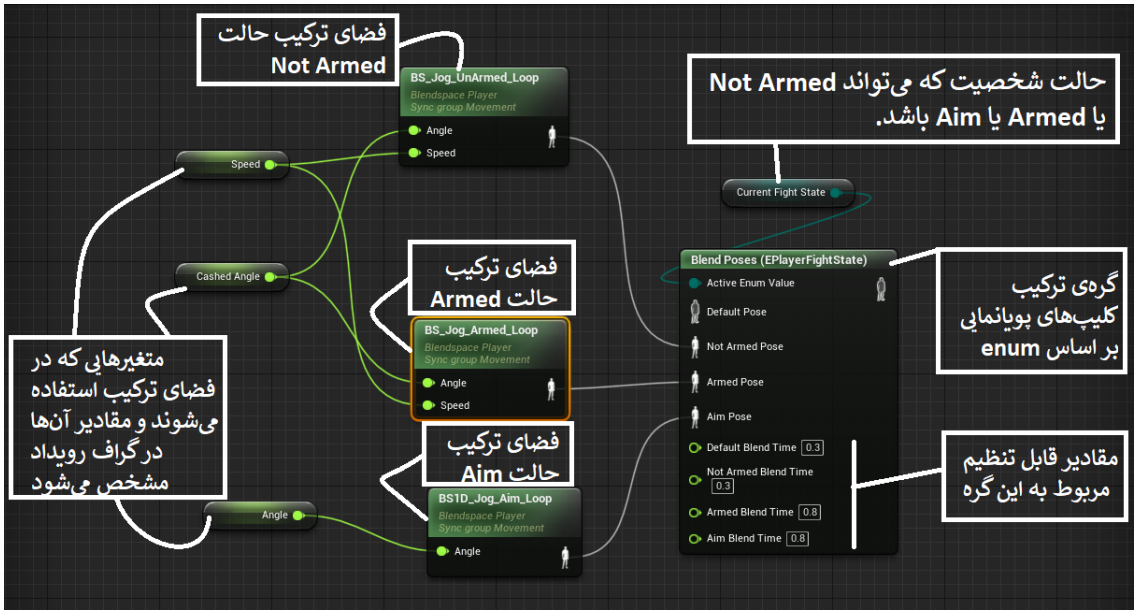
این نوع از گره‌ها برای ترکیب کلیپ‌های پویانمایی بر اساس یک مقدار که این مقدار می‌تواند عدد صحیح، مقدار بولین و یا مقداری از نوع داده‌ی Enum باشد.

به عنوان مثال فرض کنیم شخصیت درون بازی می‌تواند در وضعیت‌های مختلفی از نظر حالت مبارزه با اسلحه قرار گیرد. این حالت‌ها می‌توانند حالت بدون اسلحه، حالت با اسلحه و حالت گرفتن نشانه با اسلحه باشد. می‌توان این حالت‌ها را با enum نشان داد. اگر برای هرکدام از این حالات یک کلیپ پویانمایی داشته باشیم و بخواهیم با توجه به حالت فعلی شخصیت یکی از این کلیپ‌ها را روی شخصیت پخش کنیم، می‌توانیم از این گره استفاده کنیم. [۲۴]

این مثال در شکل زیر آمده است.

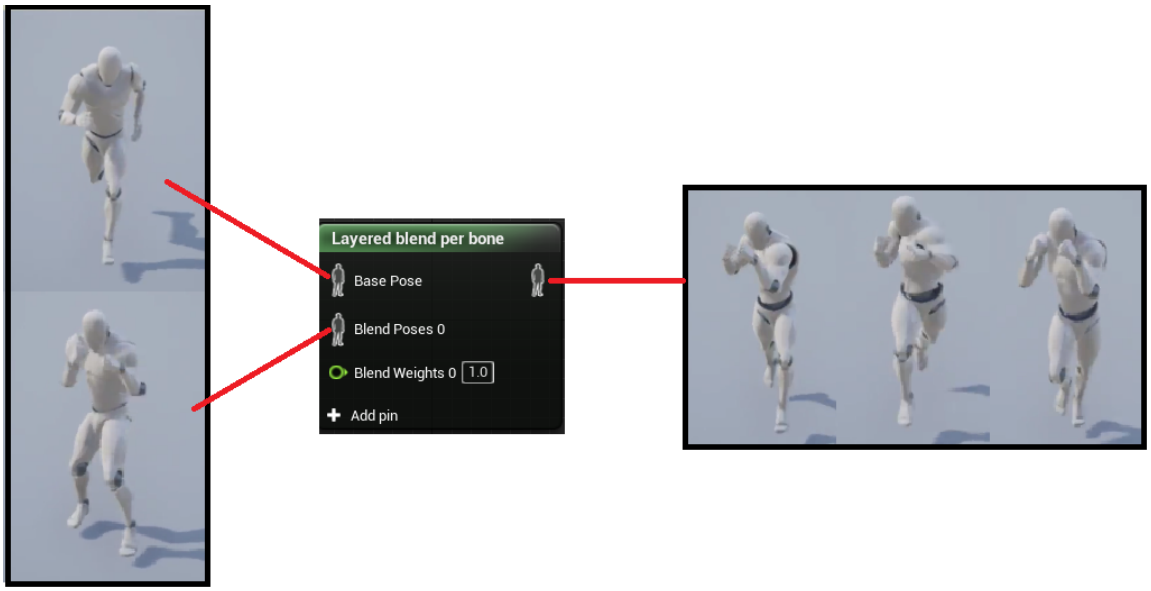
۳-۱۳-۳ گره‌ی ترکیب لایه‌ای برای هر مفصل

با استفاده از این گره می‌توانیم کلیپ پویانمایی را بر روی مفاصل محدودی از اسکلت اجرا کنیم. به عنوان مثال فرض کنید یک کلیپ پویانمایی مربوط به مشت زدن و کلیپ دیگری مربوط به حرکت شخصیت داریم. اگر بخواهیم



شکل ۳-۹ – مثال استفاده از گره‌ی ترکیب

از این دو کلیپ استفاده کنیم تا شخصیت در حال حرکت بتواند مشت هم بزند، می‌توان از این گره استفاده کرد. با استفاده از این گره، می‌توان کلیپ مربوط به مشت زدن را تنها بر روی قسمت کمر به بالای شخصیت و کلیپ حرکت را بر روی کمر به پایین شخصیت اجرا کنیم.



شکل ۳-۱۰ – اجرای کلیپ‌های پویانمایی بر روی مفاصل متفاوت

[۲۴]

۳-۱٤ گره‌های کنترل اسکلت

این گره‌ها امکان دستکاری مستقیم مفاصل موجود در اسکلت را فراهم می‌کنند. مجموعه‌ی این گره‌ها شامل حل‌کننده‌های مختلف هستند که می‌توان به حل کننده‌ی IK به عنوان مثال اشاره کرد. علاوه بر این بعضی از گره‌های مربوط به این قسمت، می‌توانند برای اعمال فیزیک بر روی مفاصل استفاده شوند. [۲۵]

۳-۱۵ گره‌های تبدیل فضا

در موتور آنریل ژست‌ها می‌توانند در فضای محلی یا فضای مولفه قرار گیرند. در فضای محلی مفاصل نسبت به والد خود قرار می‌گیرند، در صورتی که در فضای مولفه، مفاصل نسبت به مولفه‌ی مش اسکلتی [1] قرار می‌گیرند. اکثر گره‌ها با ژست‌ها در هنگامی که در فضای محلی قرار دارند، کار می‌کنند. اما بعضی از گره‌های ترکیب و تمامی گره‌های کنترل اسکلت با ژست در فضای مولفه کار می‌کنند. بنابراین لازم از در مواقع لازم با استفاده از این گره، ژست اسکلت را از یک فضا به فضای دیگر منتقل کنیم. [۲۶]

شکل ۳-۱۱ - گره‌های تبدیل حالت

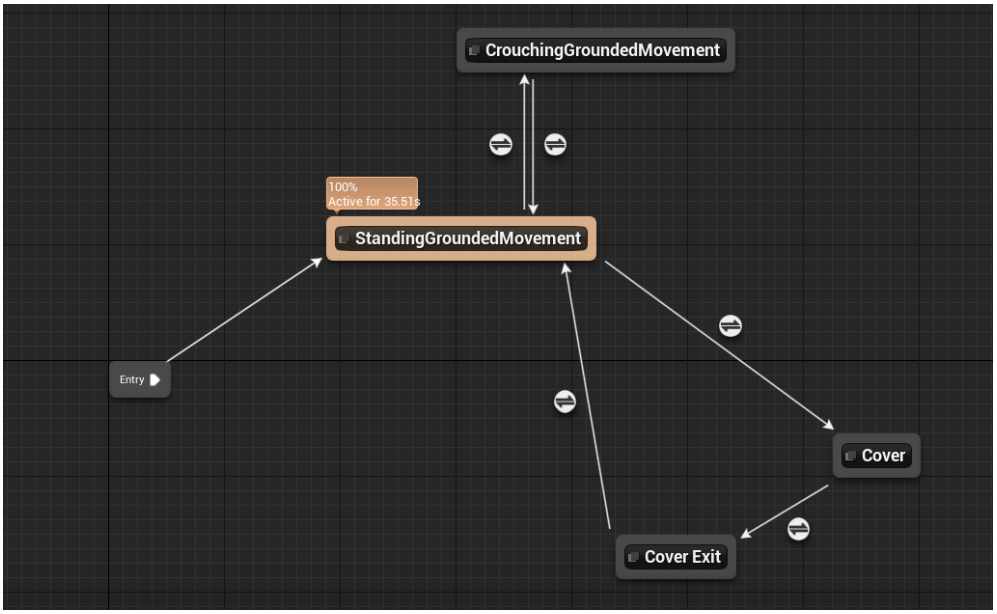
۳-۱٦ گره‌ی ماشین حالت

ماشین‌های حالت، یک راه گرافیکی برای شکستن پویانمایی شخصیت‌ها به یک سری حالت را ارائه می‌دهند. در آنریل می‌توان ماشین‌های حالت پیچیده و تو در تو بر اساس نیاز کاربران به وجود آورد.

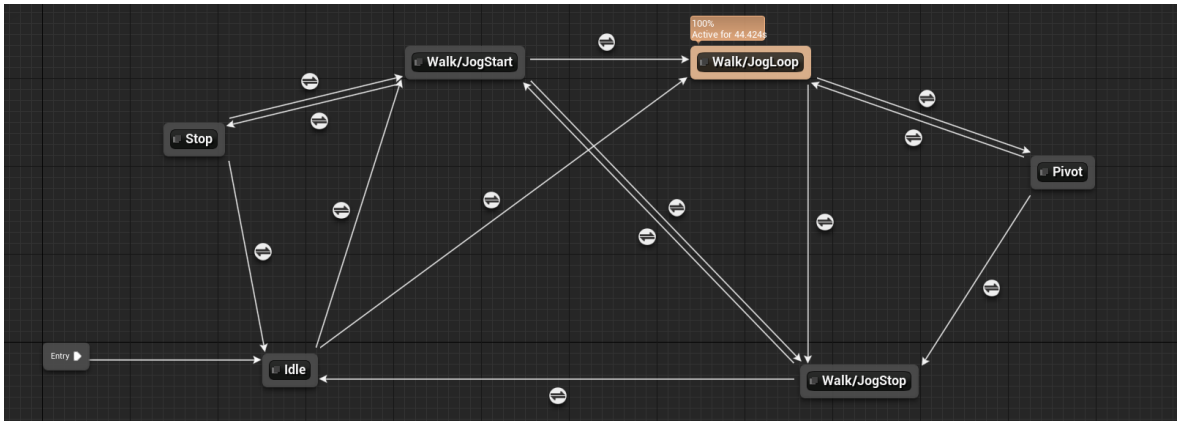
۳-۱۷ نتیجه‌گیری

در این فصل نگاهی بر موتور بازی‌سازی آنریل با تاکید بر گراف پویانمایی انداختیم. همچنین توضیحات کاملی، درباره‌ی ویژگی‌هایی که گراف پویانمایی در اختیار کاربران می‌گذارد، آورده شد. بنابراین آشنایی کافی با ابزارهایی

[1] SkeletalMeshComponent



شکل ۳-۱۲ – ماشین حالت برای حرکت شخصیت



شکل ۳-۱۳ – شخصیت ماشین حالت برای حرکت شخصیت در هنگام روی زمین قرار گرفتن

که یک سیستم پویانمایی در اختیار کاربران می‌گذارد و اینکه این ابزارها در چه مواردی استفاده می‌شوند، پیدا کردیم. حال برای درک بیشتر آنچه در داخل این سیستم‌ها اتفاق می‌افتد، به پیاده‌سازی یک سیستم پویانمایی از پایه می‌پردازیم.

فصل چهارم
پیاده سازی

برای پیاده‌سازی سیستم پویانمایی از OpenGL که یک واسط برنامه‌نویسی کاربردی برای دسترسی به توابع گرافیکی است استفاده شده است. در این فصل ابتدا به بررسی کتابخانه‌های کمکی استفاده شده در این پیاده‌سازی می‌پردازیم. سپس به نحوه‌ی نمایش مدل‌های گرافیکی می‌پردازیم و پس از آن به بررسی پیاده‌سازی سایه‌زنی فونگ و فرمول‌های مرتبط با آن می‌پردازیم. در نهایت نحوه‌ی پیاده‌سازی سیستم پویانمایی و الگوریتم‌های به کار رفته در آن بررسی می‌شوند.

٤-١ کتابخانه‌های کمکی

در این پیاده‌سازی از کتابخانه‌های مختلفی استفاده شده‌اند. هرکدام از این کتابخانه‌ها وظیفه‌ی به خصوص خود را دارند. در این بخش به معرفی و بررسی این کتابخانه‌ها می‌پردازیم.

GLFW ١-١-٤

از آنجایی که به‌وجودآوردن یک پنجره‌ی جدید و همچنین context وابسته به نوع سیستم‌عامل است بنابراین نیازمند کتابخانه‌ای هستیم که بتواند این موارد را برای ما مدیریت کند. GLFW یک کتابخانه‌ی منبع باز و چندپلتفرمی برای

OpenGL است که یک API ساده و مستقل از پلتفرم برای تولید پنجره‌ها، زمینه‌ها [۱] و سطوح، خواندن ورودی و مدیریت رویدادها [۲] را ارائه می‌کند. این کتابخانه از سیستم‌عامل‌های ویندوز ، مک و لینوکس و سیستم‌های مشابه یونیکس پشتیبانی می‌کند. [۲۷]

GLAD ۲-۱-٤

کتابخانه‌های گرافیکی مانند OpenGL وظیفه‌ی پیاده‌سازی توابع گرافیکی را ندارند بلکه می‌توان آن‌ها را مانند یک هدر در زبان برنامه‌نویسی C++ دانست که تعریف اولیه توابع را دارند. پیاده‌سازی این توابع در درایورهای GPU قرار دارند. دسترسی به این اشاره‌گرهای تابع به خودی خود سخت نیست ولی از آنجایی که این اشاره‌گرها وابسته به پلتفرم هستند بنابراین کار طاقت فرسایی است. وظیفه‌ی کتابخانه‌ی GLAD فراهم سازی و کنترل این اشاره‌گرهای تابع است. [۲۸]

GLM ۳-۱-٤

GLM یک کتابخانه‌ی ریاضی برای نرم‌افزارهای گرافیکی مبتنی بر زبان برنامه‌نویسی سایه‌ی OpenGL [۳] است. این کتابخانه تنها شامل یک هدر C++ است. توابع و کلاس‌های موجود در این کتابخانه به صورتی نامگذاری و طراحی شده‌آند که بسیار به GLSL نزدیک باشند.

Assimp ٤-۱-٤

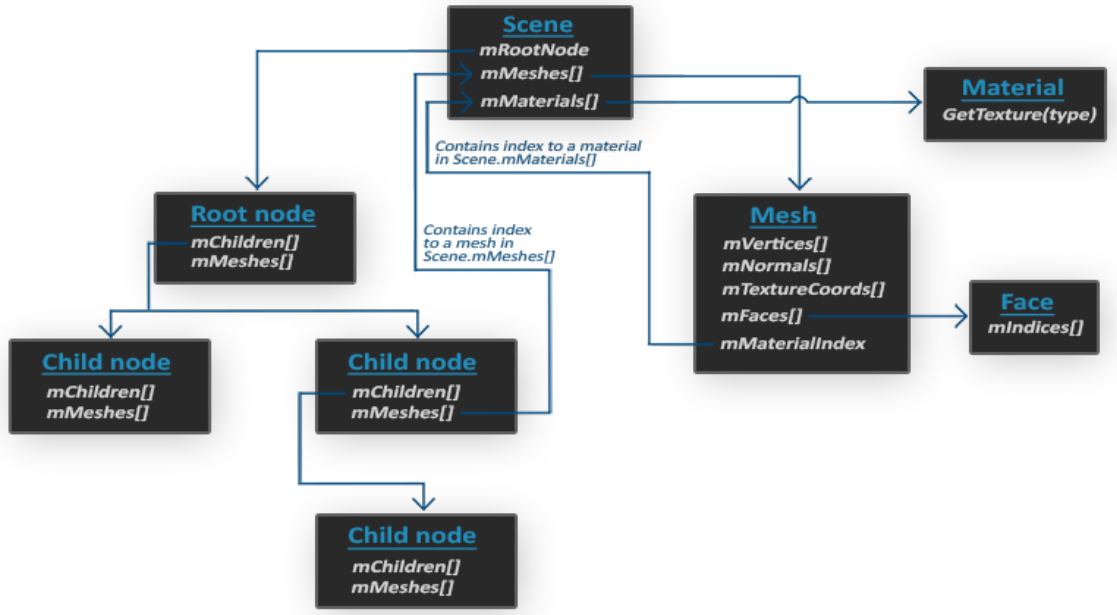
Assimp یک کتابخانه برای بارگذاری و پردازش صحنه‌های هندسی از فرمت‌های مختلف است. می‌توان با استفاده از آن مواردی همچون مش‌های استاتیک و یا اسکلتونی، مواد [۴] ، کلیپ‌های پویانمایی اسکلتونی و داده‌های بافت را از فایل بارگذاری کرد. زمانی که این مدل‌ها بارگذاری می‌شوند این کتابخانه آن‌ها را در ساختاری به شکل ۴-۱ ذخیره می‌کند و بعد از آن می‌توان از این ساختار، داده‌های مورد نظر خود را خواند و از آن‌ها استفاده کرد. [۲۹] [۳۰]

stb ٥-۱-٤

این کتابخانه برای بارگذاری تصاویر استفاده می‌شود. در این پروژه از این کتابخانه برای بارگذاری تصاویر بافت‌ها در کنار کتابخانه‌ی Assimp استفاده شده است. [۳۱]

---

[1] Contexts
[2] Events
[3] OpenGL Shading Language(GLSL)
[4] Materials



شکل ۴-۱ - ساختار کلاس‌های کتابخانه‌ی Assimp [۳۰]

٤-۲ پیاده‌سازی سیستم پویانمایی

این بخش دو هدف کلی را دنبال می‌کند.

- نمایش مدل گرافیکی و نورپردازی محیط
- اجرا و ترکیب کلیپ‌های پویانمایی توسط ماشین حالت متناهی

٤-۲-۱ نمایش مدل گرافیکی

همانطور که گفته شد مدل‌ها یا اشیاء سه‌بعدی به خودی خود مفهومی در OpenGL ندارند. آنچه برای OpenGL اهمیت دارد لیستی از مثلث‌ها است تا آن‌ها را به تصویر بکشد. مدل‌های سه‌بعدی از رئوس، لبه و وجوه تشکیل می‌شوند و در فرمت‌های مختلفی مانند FBX ذخیره می‌شوند. در این پیاده‌سازی، از کتابخانه‌ی Assimp برای خواندن این داده‌ها استفاده شده است.

٤-۲-۲ قرارگیری مدل سه‌بعدی در کارت گرافیک

آنچه برای OpenGL اهمیت دارد این است که به آن مجموعه‌ای از مثلث‌ها داده شود تا برایمان ترسیم کند. برای اینکار به صورت عمومی از ۳ آرایه مختلف استفاده می‌شود که به نام‌های VBO ، VAO و EBO شناخته می‌شوند. VBOs [1] یک آرایه یا بافری است که تمامی رئوس مدل سه‌بعدی ما را در خود جای می‌دهد.

[1] Vertex Buffer Objectss

همانطور که در بخش ۲-۷-۱ اشاره شد، رئوس علاوه بر اینکه شامل اطلاعات موقعیت مکانی در محیط سه‌بعدی هستند، شامل اطلاعات دیگری نظیر رنگ، بردار نرمال، مختصات بافت نیز می‌توانند باشند. بنابراین باید به صورتی به کارت گرافیک اعلام کنیم که این داده‌ای که در آرایه‌ی VBOs قرار دارد را چگونه تفسیر کند. اینکار با استفاده از یک آرایه‌ی دیگر به نام VAO [۱] صورت می‌گیرد. در نهایت گفتیم که آنچه برای کارت گرافیک اهمیت دارد دریافت مثلث‌ها است. بنابراین باید به طریقی بگوییم کدارم رئوس با اتصال به یکدیگر مثلث تشکیل می‌دهند. اینکار نیز با استفاده از آرایه‌ی EBOs [۲] صورت می‌گیرد.

٤-۲-۳ سایه‌زنی فونگ

پس از نمایش مدل سه‌بعدی در محیط گرافیکی به بررسی نحوه‌ی نورپردازی آن با استفاده از سایه‌زنی فونگ، می‌پردازیم. همانطور که در ۲-۶-۲ مطرح شد، الگوریتم سایه‌زنی فونگ شامل سه مولفه‌ی اصلی نور محیطی [۳]، نور پخش‌شده [۴] و نور آینه‌وار [۵] می‌شود. در نور محیطی تنها عامل تاثیرگذاری، میزان قدرت منبع نور است. در نور پراکنده، جهت قرار گیری منبع نور برای ما اهمیت پیدا می‌کند و در نهایت در نورپردازی آینه‌وار، موقعیت بیننده به معادله اضافه می‌شود. هر کدام از این مولفه‌ها یک میزان روشنایی به ما داده و رنگ نهایی شئ به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$result = (ambient + diffuse + specular) * objectColor$$

نور محیطی

نور محیطی قدرت نورپردازی منبع نور را برای ما شبیه‌سازی می‌کند. برای افزودن نور محیطی به اشیاء موجود در صحنه‌ی سه‌بعدی بدین صورت عمل می‌کنیم، رنگ نور منبع نور را گرفته و آن را در یک ضریب محیطی ثابت کوچک ضرب کرده. این خروجی نورمحیطی است.

$$ambientStrength = 0.1$$

$$ambient = ambientStrength * lightColor$$

---

[1] Vertex Array Objects
[2] Element Buffer Objects
[3] Ambient
[4] Diffuse
[5] Specular

نور پخش‌شده

هرچه قطعات یک چندضلعی در جهت پرتوهای نور منبع نور باشند، نور پخش شده به آن قسمت روشنایی بیشتری می‌بخشد. بنابراین این مولفه تاثیر زاویه قرار گیری قطعات شئ با منبع نور را شبیه‌سازی می کند.

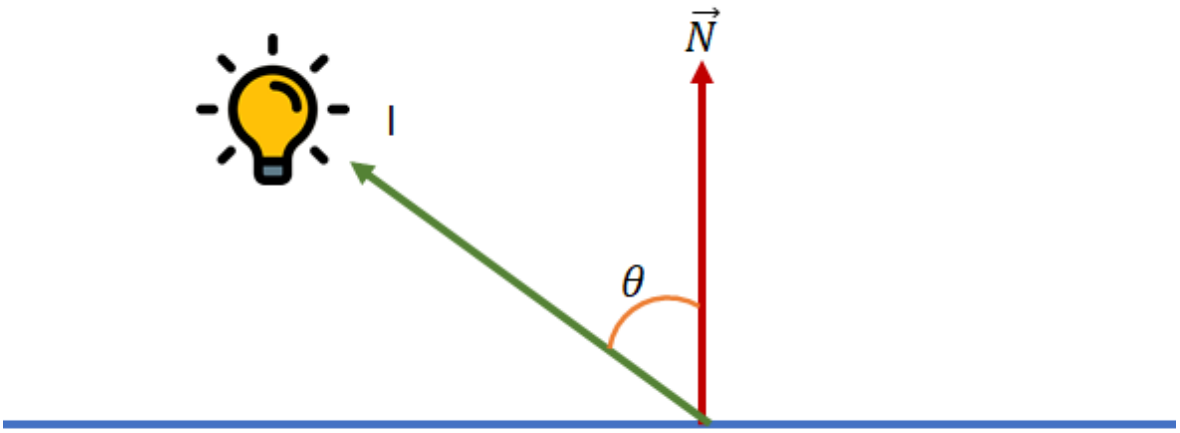
هر یک از قسمت‌های شی شامل یک بردار نرمال است. بردار نرمال برداری واحد و عمود بر شی است. با دانستن موقعیت مکانی منبع نور، می‌توان برداری از قطعه‌ی موجود در شی به منبع نور را بدست آورد. زاویه‌ی بین این بردار و بردار نرمال، زاویه‌ی بین قطعه‌ی شئ و منبع نور است. برای اینکه بفهمیم میزان تاثیرگذاری این نور بر روی آن قطعه چقدر است می‌توان از ضرب نقطه‌ای [1] این دو بردار استفاده کرد. سپس مقدار خروجی را در مقدار رنگ منبع نور کرده و این میزان نور پخش‌شده‌ی ما می‌شود.

$$norm = normalize(Normal)$$

$$lightDir = normalize(lightPos - FragPos)$$

$$diff = max(dot(norm, lightDir), 0.0)$$

$$diffuse = diff * lightColor$$



شکل ۴-۲ - نور پخش‌شده

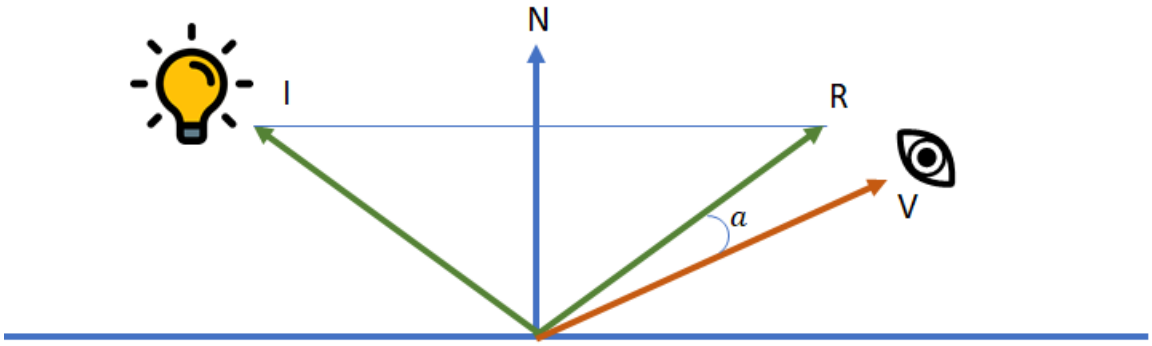
[1] Dot product

نور آینه‌وار

مانند نور پخش‌شده، نور آینه‌وار نیز بستگی به زاویه‌ی قرار گیری منبع نور و بردار نرمال قطعه دارد. تفاوت این مولفه این است که علاوه بر مورد اشاره شده وابسته به جهت مشاهده نیز دارد.

نورپردازی آینه‌وار بستگی بسیاری به خواص بازتابی سطوح دارد. اگر سطح جسم را مانند یک آینه درنظر بگیریم، جایی را که بتوانیم نور منعکس شده را بر روی سطح ببینیم شدت آن نور قوی تر خواهد بود. بنابراین نتیجه‌ی نهایی این نورپردازی بدین صورت است که اجسام از زوایای خاصی روشن‌تر به نظر می‌رسند و هرچه از اجسام دورتر شویم از این روشنایی کاسته می‌شود.

برای بدست آوردن شدت این نور نیاز داریم ابتدا زاویه‌ی قرار گیری منبع نور با قسمت مورد نظر روی شئ را پیدا کنیم. این زاویه را در نور پخش‌شده نیز بدست آوردیم. سپس لازم است آن را نسبت به بردار نرمال شئ بازتاب دهیم. همچنین لازم است برداری بین بیننده و آن قطعه را نیز بدست آوریم. در نهایت زاویه‌ی بین بردار نور بازتاب داده‌شده و بردار موقعیت بیننده، زاویه‌ی مورد نظر ما است و برای بدست آوردن تاثیر شدت نور آینه‌وار می‌توان از ضرب نقطه‌ای این دو بردار استفاده کرد. از آنجایی که این نور بستگی به میزان براق بودن شئ دارد، بنابراین مانند فرمول زیر لازم است خروجی ضرب نقطه‌ای را به توان یک عددی که این عدد میزان براق بودن است برسانیم.



شکل ۴-۳ - نور آینه‌وار

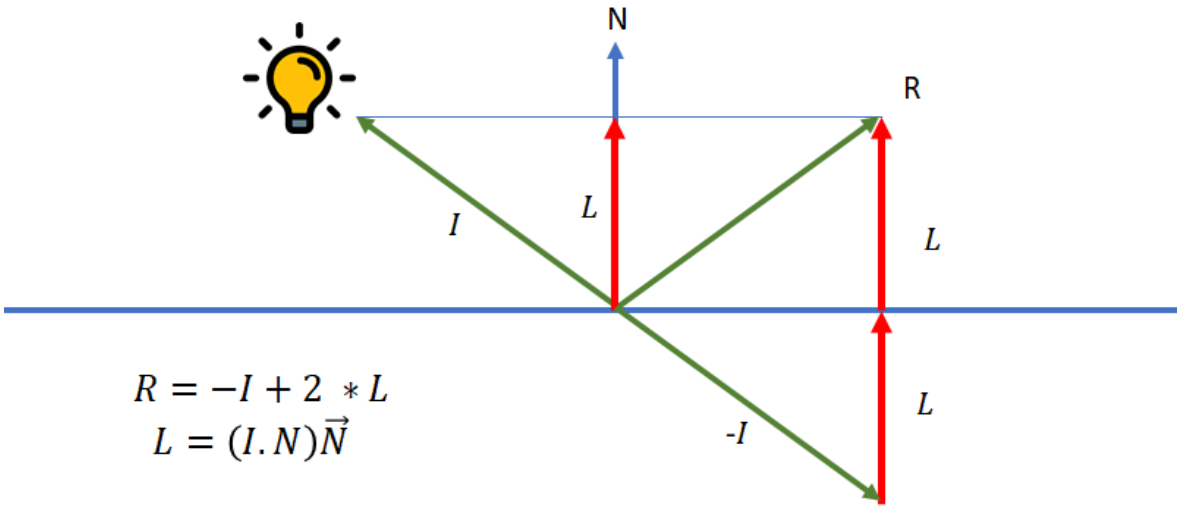
$$specularStrength = 0.5$$

$$viewDir = normalize(viewPos - FragPos)$$

$$reflectDir = reflect(-lightDir, norm)$$

$$spec = pow(max(dot(viewDir, reflectDir), 0.0), 32)$$

$$specular = specularStrength * spec * lightColor$$



شکل ۴-۴ - بدست آوردن بردار پرتوی منعکس‌شده

٤-۲-٤ اسکلت شخصیت

اسکلت یک شخصیت به صورت مجموعه‌ای از مفاصل که به صورت سلسله مراتبی به یکدگیر متصل‌اند، تعریف می‌شود. در این پیاده‌سازی کلاس Bone نشان‌دهنده‌ی هر مفصل است. هر Bone یک والد دارد و می‌تواند به هر تعدادی فرزند داشته باشد. با توجه به تعریف آورده شده از اسکلت، کلاس اسکلت که با Skeleton مشخص شده، شامل لیستی از این مفاصل به همراه اشاره‌گری به مفصل ریشه است.

٤-۲-٥ اتصال اسکلت و مدل سه‌بعدی

اصطلاحی که برای اتصال اسکلت و مدل سه‌بعدی استفاده می‌شود Skinning است. در این روش هر راس موجود در مدل، به یک یا چند مفصل متصل می‌شود. الگوریتم به کاررفته در این پیاده‌سازی،الگوریتم linear blend skinning نام دارد. در این الگوریتم زمانی که یک راس به یک مفصل می‌شود به آن یک وزن نسبت داده می‌شود.

این وزن نشان‌دهنده‌ی میزان تاثیرگذاری این مفصل بر روی این راس است. به بیانی دیگر، این وزن نشان می‌دهد که اکر این مفصل به مکان جدید منتقل شود، این انتقال چقدر بر روی آن راس تاثیر می‌گذارد. بنابراین برای بدست آوردن انتقال نهایی راس، باید انتقال راس را نسبت به هرکدام از مفاصلی که به آن متصل است را بدست آوریم، سپس انتقال نهایی برابر مجموع وزن‌دار تمامی این انتقال‌ها خواهد بود.

فرمول نهایی انتقال هر راس بر اساس این الگوریتم به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$v_M^C = \sum_{i=1}^{N} w_i^j K_i v_M^B$$

مقدار v_M^C بیانگر مکان راس نسبت به مختصات ریشه مش در حالت فعلی است.

مقدار v_M^B بیانگر مکان راس نسبت به مختصات ریشه مش در هنگامی که مش در حالت اتصال قرار دارد، است. ماتریس K_i ماتریس انتقال است که بر روی راس انجام می‌شود. مقدار w_i^j بیانگر میزان وزن تاثیرگذاری مفصل j بر روی این راس است. مقدار N بیانگر تعداد مفاصلی است که روی این راس تاثیر می‌گذارند.

برای انتقال رئوس از ماتریس انتقال K_i استفاده شده است. این ماتریس ابتدا راس را از فضای مختصاتی مش به فضای مفصل مورد نظر برده، سپس مفصل را با استفاده از ماتریس انتقال کلیپ پویانمایی، انتقال داده و پس از آن راس را دوباره به فضای مختصاتی مش باز می‌گرداند. زمانی که رئوس در فضای مفصل قرار می‌گیرند و پس از آن مفصل انتقال پیدا می‌کند، مکان راس نسبت به مفصل تغییر نمی‌کند. بنابراین به همین علت است که ابتدا رئوس به فضای مفصل موردنظر برده می‌شود و سپس آن مفصل را انتقال داده و در نهایت راس را به فضای مختصاتی مش بازمی‌گرداند.

می‌توان حالت بازشده‌ی این ماتریس را در فرمول زیر مشاهده کرد.

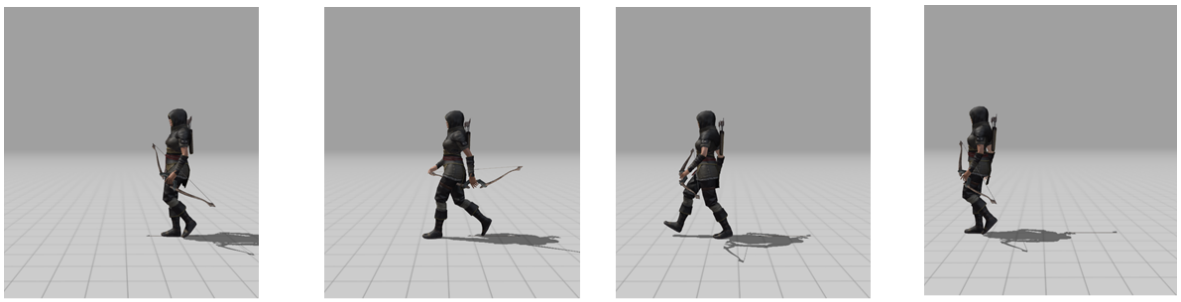
$$K_i = P_{j\to M} A_J B_{M\to J}$$

این ماتریس‌ها برای انتقال و تغییر فضای مختصات استفاده می‌شوند. زمانی که ماتریس K_i در راس ضرب می‌شود، اولین ماتریسی که روی راس تاثیر می‌گذارد، ماتریس $B_{M\to J}$ است. این ماتریس فضای مختصات راس را از فضای مختصات مش به فضای مختصات آن مفصل مورد نظر تغییر می‌دهد. پس از این ماتریس، ماتریس انتقال A_J اعمال می‌شود که این ماتریس از کلیپ پویانمایی برای این مفصل بدست می‌آید. و درنهایت ماتریس $P_{j\to M}$ اعمال می‌شود که این ماتریس، راس را به فضای مختصاتی مش باز می‌گرداند.

٤-٢-٦ کلیپ پویانمایی

در بازی‌های کامپیوتری هر کلیپ پویانمایی شامل یک حرکت منحصر به فرد شخصیت داخل بازی است. هر کلیپ شامل ژست‌های اسکلت در فاصله‌های زمانی مشخصی است. در واقع آنچه باعث حرکت شخصیت می‌شود حرکت اسکلت شخصیت است. زمانی که اسکلت شخصیت با استفاده از یک کلیپ جابه‌جا می‌شود، مدل شخصیت نیز با استفاده از روش‌های skinning که در بالا توضیح داده‌شد همراه این اسکلت حرکت می‌کند.

کلیپ‌های پویانمایی از طریق کلاسی به اسم Animation Clip مدل‌سازی شده اند. این کلاس شامل آرایه‌ای از ژست‌های شخصیت در مدت زمان‌های مشخصی است. همراه یک اشاره‌گری به اسکلت شخصیت. نکته‌ی قابل توجه این است که هر کلیپ پویانمایی مربوط به یک نوع اسکلت می‌شود. به زبانی دیگر نمی‌توان کلیپی که برای اسکلت شخصیت انسانی طراحی شده است را بر روی یک حیوان، مانند فیل اجرا کرد.



شکل ۴-۵ - نمایی از ژست شخصیت در یک کلیپ پویانمایی

٤-٢-٧ پخش‌کننده‌ی کلیپ‌های پویانمایی

این سیستم وظیفه‌اش پخش کردن کلیپ پویانمایی بر روی اسکلت شخصیت است. این سیستم با گرفتن یک کلیپ و یک اسکلت، این کلیپ را بر روی آن اسکلت اجرا می‌کند. همانطور که گفتیم، کلیپ‌های پویانمایی ژست شخصیت را در فاصله‌های زمانی مشخصی در خود ذخیره می‌کنند. وظیفه‌ی این سیستم این است که با استفاده از یک زمان‌سنج که نشان‌دهنده‌ی زمان فعلی بازی است ژست مناسب شخصیت را از داخل کلیپ بدست آورد. قابل ذکر است که ممکن است این ژست با توجه به زمان بازی و فاصله‌های زمانی داخل کلیپ از درون‌یابی دو ژست پشت سر هم در آن کلیپ بدست آید.

٤-٢-٨ الگوریتم پخش‌کننده‌ی کلیپ‌های پویانمایی

هر شخصیت درون بازی، اگر از نوع شخصیت اسکلتونی باشد، دارای یک پخش کننده‌ی کلیپ پویانمایی خواهد بود.

در تصویر زیر تابع به‌روزرسانی اسکلت به وسیله‌ی کلیپ پویانمایی را می‌توان مشاهده کرد.

```
currentTime += deltaTime;

const double currentAnimationTime = (currentTime - startTimeForCurrentAnim);
AnimationPose currentPose = currentClip->GetPoseForCurrentFrame(currentAnimationTime *
    currentClip->GetFramePerSecond());

SetSkeletonPose(currentPose);
```

برای اینکه بتوان یک کلیپ را پخش کرد نیاز است دو مورد زیر را بدانیم.

- زمان فعلی درون بازی(CurrentTime)
- زمان شروع پخش کلیپ فعلی(StartTimeForCurrentAnimation)

در ابتدا زمان فعلی درون بازی را برای این پخش‌کننده به‌روزرسانی می‌کنیم. سپس برای بدست آوردن زمان فعلی کلیپ می‌توان از فرمول زیر استفاده کرد

$$CurrentAnimationTime = CurrentTime - StartTimeForCurrentAnimation$$

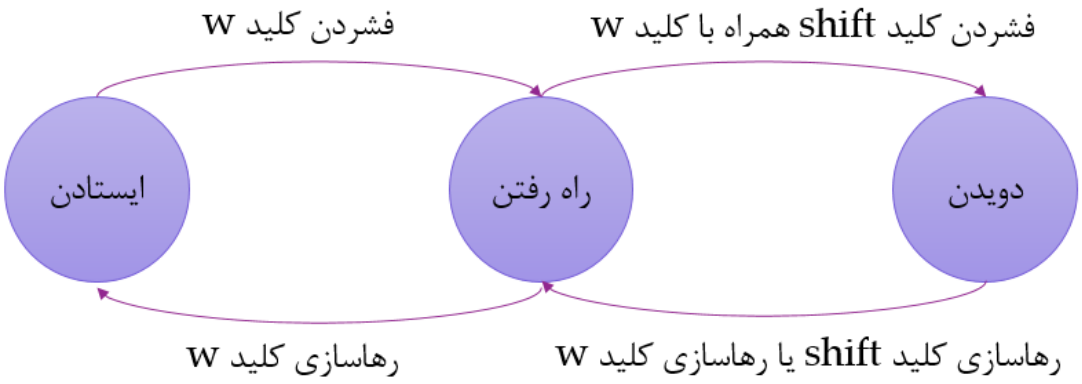
در نهایت با استفاده از این مقدار می‌توان ژست مورد نظر را از داخل کلیپ پویانمایی بدست آورد. در نهایت نیز این ژست را بر روی اسکلت شخصیت اعمال می‌کنیم.

٤-٢-٩ ماشین حالت پویانمایی

یکی از روش‌های ترکیب کلیپ‌های مختلف با یکدیگر، استفاده از ماشین حالت متناهی است. یک ماشین حالت متناهی شامل چندی حالت مختلف است که هر کدام از این حالات، حالتی از وضعیت سیستم را مشخص می‌کنند. زمانی که از ماشین حالت استفاده می شود سیستم می‌تواند در هر لحظه تنها در یکی از این حالات قرار گیرد. البته سیستم می‌تواند با دریافت ورودی از یک حالت به حالت دیگری رود.

دلیل استفاده از ماشین حالت متناهی برا سیستم پویانمایی این است که همانگونه که گفتیم، کلیپ‌های پویانمایی، شامل ویدیوهای کوتاهی هستند که یک حالت مشخصی از شخصیت را بیان می‌کنند. در یک بازی، با توجه به ورودی بازیکن، شخصیت درون بازی می‌تواند در حالت‌های متفاوتی قرار گیرد. با استفاده از ماشین حالت می‌توان به تمامی این حالت‌ها رسیدگی کرد.

به عنوان مثال، تصویر ۴-۶ نشان‌دهنده‌ی یک ماشین‌حالت برای حرکت شخصیت است. شخصیت در ابتدا در حالت ایستاده قرار دارد و با گرفتن ورودی‌های مختلف از کیبورد، می‌تواند به حالت‌های دیگری رود.



شکل ۴-۶ - ماشین حالت برای حرکت شخصیت

برای پیاده‌سازی ماشین حالت متناهی، این سیستم به سه کلاس کلی شکسته‌شده‌است. کلاس AnimationStateMachine که وظیفه‌ی مدیریت حالت‌ها و انتقال از یک حالت به حالت دیگری را دارد. کلاس AnimationState که نشان‌دهنده‌ی حالت شخصیت است. هر AnimationState شامل یک کلیپ است و هر زمانی که این حالت فعال می‌شود این کلیپ پخش می‌شود. در نهایت کلاس Transition که شامل توابع انتقال است. هر حالت می‌تواند شامل چندین انتقال باشد. و وظیفه‌ی AnimationStateMachine است که بررسی کند، اگر انتقالی امکان‌پذیر بود، آن را انجام دهد.

٤-٢-١٠ به‌روزرسانی ماشین حالت پویانمایی

وضعیت توابع انتقال تاثیرگذاری مستقیمی در وضعیت سیستم به‌روزرسانی ماشین حالت دارد. وضعیت انتقال می‌تواند سه حالت زیر را داشته باشد.

- حالت عادی [1]
- حالت در حال انتقال [2]
- حالت اتمام انتقال [3]

حالت اول حالت عادی است که نشان‌دهنده‌ی وضعیت عادی ماشین حالت است. در این وضعیت، توابع انتقال حالت فعلی بررسی می‌شوند تا در صورتی که شرایطشان برقرار شود، تغییر حالت رخ دهد. علاوه بر آن کلیپ حالت فعلی با استفاده از کلاس پخش‌کننده آپدیت می‌شود.

در صورتی که توابع انتقال مقدار درست [4] را بازگردانند، ماشین به وضعیت دوم که وضعیت درحال انتقال است، تغییر وضعیت می‌دهد. در این وضعیت با توجه به زمانی که مشخص شده، ژست شخصیت با استفاده از درون‌یابی خطی

[1] Normal
[2] Transitioning
[3] Finished
[4] True

از حالت فعلی به حالت جدید تغییر می‌کند.

پس از اینکه انتقال به صورت کامل انجام شد، وضعیت ماشین حالت به اتمام انتقال تغییر می‌یابد. زمانی که ماشین در این وضعیت قرار گرفته یعنی به حالت جدید منتقل شده، بنابراین لازم است کلیپ پویانمایی را از حالت جدید گرفته و آن را به کلاس پخش کننده داده تا آن را پخش کند. پس از این کار وضعیت ماشین دوباره به حالت عادی تغییر می‌یابد و همه‌ی این موارد دوباره تکرار می‌شوند.

```
if(transitionStatus == TransitionStatus::normal)
{
   for (const auto& transition : currentState->GetTransitions()) // loop through
       transitions of the current state
   {
      if (transition->Evaluate())
      {
         transitionStatus = TransitionStatus::transitioning;
         currentState = animationStatesMap.at(transition->to);
         TransitionFromPose = animator->GetPoseAtCurrentTime();
         TransitionToPose = currentState->GetAnimClip()->GetPoseForCurrentFrame(0);
         currentTime = 0;
         transitionTime = transition->transitionTime;
         break;
      }
   }
}

if (transitionStatus == TransitionStatus::normal)
{
   animator->Update(deltaTime);
}
else if(transitionStatus == TransitionStatus::transitioning)
{
   if(TransitionUpdate(deltaTime))
   {
      transitionStatus = TransitionStatus::finished;
   }
}
else if(transitionStatus == TransitionStatus::finished)
{
   animator->ChangeAnimationClip(*(currentState->GetAnimClip()), 0);
   transitionStatus = TransitionStatus::normal;
}
```

۴-۳ نتیجه‌گیری

خروجی نهایی این فصل، یک برنامه‌ی گرافیکی برای بارگذاری اشیاء سه‌بعدی است. از آنجایی که این اشیاء می‌توانند شامل مش‌های اسکلتی باشند، بنابراین توانایی اجرای کلیپ‌های پویانمایی را خواهند داشت. در نهایت با پیاده‌سازی سیستم ترکیب با استفاده از ماشین حالت متناهی، این مش‌های اسکلتی می‌توانند در حالت های مختلف قرار گیرند و بر اساس هر کدام از این حالات، کلیپ متفاوتی را پخش کنند.

فصل پنجم
نتیجه‌گیری

هدف این پروژه آشنایی با محیط‌های گرافیکی و الگوریتم‌های موجود در آن با تاکید بر سیستم پویانمایی کامپیوتری بود. برای بدست آوردن این هدف، در این پروژه ابتدا به بررسی سیستم گراف پویانمایی یکی از بزرگترین موتورهای بازی‌سازی جهان، یعنی موتور بازی‌سازی آنریل پرداختیم. با این بررسی متوجه‌شدیم که یک سیستم پویانمایی چه ابزارهایی را در اختیار کاربران قرار می‌دهد و نحوه‌ی کلی استفاده از این ابزارها چگونه است.

در نهایت برای تحلیل عمیق این سیستم‌ها به پیاده‌سازی یک سیستم مشابه با استفاده از واسط برنامه نویسی کاربردی OpenGL پرداختیم. خروجی این پیاده‌سازی، یک نرم‌افزاری گرافیکی است که به وسیله‌ی آن می‌توان مش‌های اسکلتی را بارگذاری کرد و روی آن‌ها کلیپ‌های پویانمایی مختلفی را اجرا کرد.

فصل ششم
کارهای آینده

نرم‌افزار گرافیکی پیاده‌سازی شده می‌تواند از جهات مختلفی گسترش یابد. یکی از مواردی که می‌توان اشاره کرد ایجاد ویژگی‌های جدید به نرم‌افزار فعلی است. همانطور که در تحقیق درباره‌ی سیستم آنریل متوجه شدیم، سیستم‌های پویانمایی، سیستم‌های بسیار گسترده‌ای هستند. ویژگی‌هایی مانند، اضافه کردن الگوریتم‌های مختلف برای ترکیب، اضافه کردن پویانمایی بر اساس فیزیک، اضافه کردن مواردی همچون سینماتیک معکوس برای ایجاد پویانمایی رویه‌ای می‌توانند تنها سطحی از دریای عمیق ویژگی‌ها باشند.

علاوه بر این، از آنجایی که این برنامه‌ی در حال حاضر از کتابخانه‌ی Assimp برای بارگذاری مدل‌های سه‌بعدی استفاده می‌کند، سرعت مناسبی ندارد. می‌توان با نوشتن یک سیستم جداگانه برای بارگذاری اشیاء به سرعت این بارگذاری افزود.

علاوه بر این موارد، این برنامه را می‌توان از جهت موتور بازی‌سازی نیز ارتقا بخشید. به عنوان مثال، در سیستم فعلی هیچگونه الگوریتم برخوردی، پیاده‌سازی نشده است. با پیاده‌سازی چنین مواردی، می‌توان به واقع‌گرایانه‌تر شدن این برنامه کمک کرد.

فهرست شکل‌ها

عنـــوان **صفحه**

مراجع

[1] “Animation wikipedia”, https://en.wikipedia.org/wiki/Animation.

[2] Barczak, A. M. and Woźniak, H., “Comparative study on game engines”, *Studia Informatica. Systems and Information Technology. Systemy i Technologie Informacyjne*, No. 1-2, 2019.

[3] “Keyframe animarion berkeley”, https://cs184.eecs.berkeley.edu/sp19/lecture/17-28/intro-to-animation-kinematics-mo.

[4] Wood DN, Finkelstein A, H. J. T. C. and DH, S., “Multiperspective panoramas for cel animation”, *Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, 1997.

[5] “Animation cells wikipedia”, https://en.wikipedia.org/wiki/File:Animation_cells.png.

[6] Lasseter, J., “Principles of traditional animation applied to 3d computer animation”, *Proceedings of the 14th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, 1987.

[7] Gregory, J., *Game Engine Architecture*, A K Peters/CRC Press, 3rd ed. , 2018.

[8] “Unreal engine wikipedia”, https://en.wikipedia.org/wiki/Unreal_Engine.

[9] “Unreal engine blueprint”, https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/ProgrammingAndScripting/Blueprints/.

[10] “Computer graphics wikipedia”, https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_graphics_(computer_science).

[11] “Using opengl”, https://www.khronos.org/opengl/wiki/Getting_Started.

[12] “Opengl state macine”, https://learnopengl.com/Getting-started/OpenGL.

[13] “Phone shading lernopengl”, https://learnopengl.com/Lighting/Basic-Lighting.

[14] “Phong shading wikipedia”, https://en.wikipedia.org/wiki/Phong_reflection_model.

[15] “Polygon mesh wikipedia”, https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon_mesh.

[16] “Different parts of a car”, https://cults3d.com/en/3d-model/game/bugatti-veyron-printable-car-3d-digital-stl-file.

[17] “Different materials”, https://cleverlottery.weebly.com/vray-materials-download.html.

[18] “Different textures”, https://www.pinterest.com/pin/56787645294557990/.

[19] “Skeletal model”, https://www.fudgeanimation.com/experiments/top-5-rigging-tips/.

[20] “Skinning”, https://www.pluralsight.com/blog/film-games/understanding-skinning-vital-step-rigging-project.

[21] “Unreal engine animation”, https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/animating-characters-and-objects-in-unreal-engine/.

[22] “Unreal engine event graph”, https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/AnimatingObjects/SkeletalMeshAnimation/AnimBlueprints/EventGraph/.

[23] “Unreal engine animation graph”, https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/AnimatingObjects/SkeletalMeshAnimation/AnimBlueprints/AnimGraph/.

[24] “Unreal engine anim graph blend node”, https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/AnimatingObjects/SkeletalMeshAnimation/NodeReference/Blend/.

[25] “Unreal engine anim graph skeletal controls node”, https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/AnimatingObjects/SkeletalMeshAnimation/NodeReference/SkeletalControls/.

[26] “Unreal engine anim graph change space node”, https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/AnimatingObjects/SkeletalMeshAnimation/NodeReference/SpaceConversion/.

[27] “Glfw”, https://github.com/glfw/glfw.

[28] “Glad”, https://github.com/Dav1dde/glad.

[29] “Assimp”, https://assimp-docs.readthedocs.io/en/v5.1.0/about/introduction.html.

[30] “Assimp class hierarchy”, https://learnopengl.com/Model-Loading/Assimp.

[31] “stb”, https://github.com/nothings/stb.

Analysis of the animation graph in Unreal Engine and implementation of an animation system using OpenGL

Nami Naziri
nami.naziri@yahoo.com

July 20, 2022

Department of Electrical and Computer Engineering
Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran

Degree: Bachelor of Science Language: Farsi

Supervisor: Maziar Palhang, Assoc. Prof., palhang@cc.iut.ac.ir.

Abstract

Computer animation is the process used for digitally generating animated images. Modern computer animation usually uses 3D computer graphics to generate a three-dimensional picture. In most 3D computer animation systems, an animator creates a simplified representation of a character's anatomy, which is analogous to a skeleton or stick figure. In human and animal characters, many parts of the skeletal model correspond to the actual bones.

In the first phase, the animation graph will be examined in Unreal Engine. The animation graph is used to evaluate a final pose for the Skeletal Mesh for the current frame. This graph is used to sample, blend, and manipulate poses to be applied to Skeletal Meshes by the Animation Blueprints. We will examine the graph and the algorithm it uses at this stage.

In the second phase, the skeletal animation system is implemented from the ground up, based on the methods obtained. This step has three objectives. The first objective is to render a skeleton in a 3D environment created using OpenGL. As part of this step, we will write a program in C++ that will display the animation created by key frames. As the Second objective, skinning methods are used to add a mesh to the skeleton. Ultimately, we want to use the animation blending method to blend together different animations.

Keywords

Computer Animation,Game Engine, Unreal Engine, Animation Graph, 3D Computer Graphics

Isfahan University of Technology
Department of Electrical and Computer Engineering

Analysis of the animation graph in Unreal Engine and implementation of an animation system using OpenGL

A Thesis
Submitted in partial fulfillment of the requirements
for the degree of Bachelor of Science

By
Nami Naziri

Evaluated and Approved by the Thesis Committee, on July 20, 2022

1- Maziar Palhang, Assoc. Prof. (Supervisor)

2- Zeinab Zali, Assist. Prof. (Examiner)

Department Graduate Coordinator: Ahmadreza Tabesh, Assoc. Prof.