

بدرستی

عصر
فضای
مجازی

گزارش شماره ۴۹
پهمن ۱۳۹۹



مرکز ملی فضای مجازی
پژوهشگاه فضای مجازی

تولید محتوای خودکار و کارآمد در بازی های رایانه ای

محتوای انتشار یافته در این اثر
الزاماً بیانگر دیدگاه مرکز ملی فضای مجازی نیست

تهیه شده در پژوهشگاه فضای مجازی
(گروه علوم و فناوری های نوین)

تهیه کنندگان: محمدرضا حجت الاسلامی،
محمد مهدی رضاپور

ناظر علمی: محمد مهدی رضاپور

حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به مرکز ملی فضای
مجازی است و استفاده از آن با ذکر منبع مجاز می باشد.

نشانی: تهران، میدان آرژانتین، خیابان بیهقی، نبش
خیابان ۱۶ غربی، پلاک ۲۰
تلفن: ۰۲۱-۸۶۱۵۱۰۶۱
کد پستی: ۱۵۱۵۶۷۴۳۱۱

فهرست

۵ سخن نخست

۹ چکیده

بخش اول (مقدمه)

۱۵ تولید محتوای خودکار و کارآمد در بازی های رایانه ای

۱۷ هدف از گزارش

۱۹ ساختار گزارش

بخش دوم (بررسی محتوا و راه های تولید خودکار آن)

۲۳ تولید رویه ای محتوا چیست؟

۳۱ سابقه استفاده از PCG

۳۳ رده بندی تولید رویه ای محتوا

۳۵ روش های تولید رویه ای محتوا

۳۸ علوم و فنون به کاررفته در PCG

۳۹ تحقیقات علمی انجام شده در PCG

بخش سوم (نیازمندی ها و توانمندی ها موجود برای ایجاد محتوای بازی)

۵۵ نیازمندی های تولید محتوا

۵۷ توانمندی های تولید محتوا

۵۹ نتیجه گیری و پیشنهادات

۶۳ منابع

۷۱ پیوست

سخن نخست



فضای مجازی با شتاب شگرف و رو به تزایدی که در حال بسط و گسترش است تمام ساحات اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و فرهنگی زندگی بشر را درنوردیده و هر روز بخش بزرگی از زندگی واقعی را در خود فرو برده و حیات متفاوت و جدیدی به آن می‌دهد. لذا به نظر می‌رسد دو نگاه کلان به فضای مجازی وجود دارد: نگاه اول که بالاخص در ابتدای رشد و تکوین فضای مجازی مسلط شده بود، آن را همچون ابزاری کنار سایر ابزارهای بشری تصویر می‌کرد که تنها طریقت داشت. اما نگاه دوم، در نتیجه رشد تحولات خیره‌کننده فضای مجازی و سایه گسترش آن در حوزه‌ها و شئون بشر در یک دهه اخیر آن را چون سکویی می‌داند که بسیار فراتر از شأن ابزاری حیات انسان‌ها را سامان جدیدی داده و ادعای تمدن نوینی را دارد. رویکردی که از قضا از چشمان بصیر رهبر انقلاب نیز دور نمانده و انتظاری تمدنی از فضای مجازی در ایران را مطالبه داشته‌اند.

در همین راستا گزارش‌های عصر فضای مجازی تلاش می‌کند تا فهم سازمان‌ها و دستگاه‌های مرتبط با حوزه فضای مجازی را ارتقاء بخشیده و آن‌ها را برای مواجهه فعال و خردمندانه با تحولات این عرصه مهیا سازد.

سید ابوالحسن فیروزآبادی
 دبیر شورای عالی و رئیس مرکز ملی فضای مجازی

چکیده



رشد چشم‌گیر حجم بازار بازی‌های رایانه‌ای در سال‌های اخیر (۱۳۰) میلیارد دلار در سال ۲۰۱۸) شرکت‌های بازی‌سازی را بر آن داشته تا با استفاده از روش‌های نوین و ابتکاری مبتنی بر علوم کامپیوتر و هوش مصنوعی سهم بیشتری از این بازار را از آن خود کنند و در این راستا تلاش‌های فراوانی برای تولید محتوا به‌صورت خودکار انجام داده و نتایج قابل قبولی را در این زمینه به دست آورده‌اند. رشد روزافزون صنعت بازی‌سازی و انتظارات بالای بازیکنان از بازی‌ها و محتواهای موجود در آن‌ها، موجب پیچیده‌تر شدن شرایط تولید بازی، افزایش سرسام‌آور زمان و هزینه‌های تولید بازی‌ها شده است. استفاده از روش‌های خودکار تولید محتوا موجب صرفه‌جویی قابل‌توجهی در هزینه‌ها و کاهش زمان تولید بازی‌ها می‌شود. آمارهای موجود نشان می‌دهد ایران از جمله کشورهای پیشروی جهان و اول منطقه در علوم کامپیوتر و به‌طور خاص حوزه‌های هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و الگوریتم‌های پیشرفته است. با توجه به جایگاه ویژه علوم نام برده

در زمینه تولید خودکار محتوا در بازی‌ها، و پشتوانه پژوهشی-صنعتی مناسب آن در کشور این فرصت فراهم است که به پشتوانه این عامل رقابتی مهم، ایران ضمن تحکیم جایگاه فعلی خود در بازار بازی‌های رایانه‌ای، گام موثری در افزایش سهم از بازارهای منطقه‌ای و جهانی برداشته باشد. در این گزارش تلاش شده تا روش‌های خودکار تولید محتوا در بازی‌های رایانه‌ای - که به آن‌ها تولید رویه‌ای محتوا می‌گویند - به صورت مفصل تشریح شود تا خوانندگان با مطالعه‌ی این گزارش اطلاعات جامعی را از محتوای قابل تولید از این طریق، علوم و فنون درگیر در این حوزه و تحقیقات انجام‌شده در زمینه‌ی تولید رویه‌ای محتوا به دست آورند.

مقدمه



بخش اول



۳-۱- تولید محتوای کارآمد و خودکار در بازی‌های رایانه‌ای

بازی‌های رایانه‌ای از آغاز تولید آن‌ها تاکنون همواره با افزایش حجم محتوا روبرو بوده‌اند. بازی‌هایی که در کنسول‌های نسل اول اجرا می‌شدند، متشکل از تعدادی پیکسل^۱ رنگی بوده و برای ذخیره‌سازی این محتواها از حافظه‌های چند بیتی استفاده می‌شد. با رشد فناوری در حوزه‌های مختلف کامپیوتر مانند گرافیک، پردازنده و ... کیفیت محتوای درون بازی‌ها ارتقاء قابل توجهی پیدا کرد و این محتواها از چندین پیکسل به ترکیبی از چندضلعی‌ها^۲، تصاویر، صداها و ... تبدیل شدند [۱]. برای مثال در بازی جهان وارکرافت^۳ که در سال ۲۰۰۸ تولید شد، حدود ۱۴۰۰ مکان جغرافیایی، ۳۰۰۰۰ آیتم، ۵۳۰۰ نوع موجود، ۷۶۰۰ مأموریت مختلف و ۲۰۰۰۰۰۰ کلمه استفاده شده و تولید این اجزا به مدت ۵ سال طول کشید شده است [۲]. این افزایش محتوا رشد هزینه‌های تولید بازی را در پی داشته و امروزه شرکت‌های بزرگ بازی‌سازی برای تولید بازی‌های خود

1.Pixel
2.Polygon
3.World Of Warcraft

صدها میلیون دلار هزینه می‌کنند. برای مثال شرکت راکاستار گیمز^۱ برای تولید بازی Grand Theft Auto V حدود ۲۵۶ میلیون دلار هزینه کرده است [۳]. علاوه بر افزایش هزینه‌ها، افزایش محتوا باعث افزایش فضای موردنیاز برای ذخیره‌سازی بازی شده و بسیاری از شرکت‌های بازی‌سازی نوپا، هزینه و زمان قابل‌توجهی را برای کاهش حجم بازی صرف می‌کنند. برای تولید محتوای انبوه به‌صورت مرسوم و با استفاده از افراد متخصص، نیروهای خبره نیاز است و پیدا کردن این نیروها یک چالش محسوب می‌شود. همچنین تولید محتوای بزرگ مدت‌زمان تولید پروژه را افزایش می‌دهد و این امر ممکن است موجب شکست پروژه و زیان شرکت‌های بازی‌ساز شود [۲]. امروزه شرکت‌های نوپا با اندازه‌های کوچک یا متوسط، درزمینه‌ی بازی‌های رایانه‌ای در کشور فعالیت دارند و با این چالش‌ها روبرو هستند.

در دهه‌ی اخیر تحقیقات فراوانی برای تولید تمام محتوا یا بخشی از آن به‌صورت خودکار با استفاده از روش‌های موجود در حوزه‌های مختلف علوم کامپیوتر انجام شده و نتایج مطلوبی داشته است. برای مثال با استفاده از یادگیری ماشین و داده‌کاوی می‌توان محتوای بازی را متناسب با سلیقه‌ی کاربر و به‌صورت خودکار ایجاد کرد؛ یا به کمک الگوهای برنامه‌نویسی، موسیقی توسط کامپیوتر و بدون نیاز به آهنگساز تولید می‌شود. با استفاده از نتایج این تحقیقات، بجای به‌کارگیری تخصص‌های مختلف مانند برنامه‌نویس، صداگذار، طراح

1.Rockstar Games

و ... در تولید بازی، می توان بیشتر از متخصصین هوش مصنوعی و علوم کامپیوتر استفاده نمود تا با ایجاد مولدهای^۱ مختلف محتوا، نیاز به کارگیری تخصص های مختلف را کاهش دهند. همچنین چنانچه بجای ذخیره محتوای بازی از الگوریتم هایی استفاده شود که در حین اجرای بازی محتوا را تولید کنند؛ چالش فضای ذخیره سازی بازی تا حدودی برطرف می شود. با کاهش تعداد نیروهای انسانی بکار گرفته شده در تولید بازی هزینه تولید آن کمتر می شود. همچنین با استفاده از الگوریتم ها مدت زمان تولید محتوا به طرز قابل توجهی کمتر شده و این امر باعث می شود تا زمان تولید بازی به طرز چشمگیری کاهش یابد [۲].

تولید خودکار محتوا با استفاده از روش مذکور، در حوزه بازی های رایانه ای با نام تولید رویه ای محتوا (PCG)^۲ شناخته می شود. در روش های رویه ای تولید محتوا، محتوا با استفاده از الگوریتم ها و فرآیندهای کامپیوتری به صورت خودکار ایجاد می شود و نیروی انسانی دخالت بسیار کمی در تولید محتوا دارد. برای پیاده سازی این الگوریتم ها محققین از الگوریتم های تکاملی، شبکه های عصبی و یادگیری ماشین استفاده می کنند تا نرم افزار، توانایی ایجاد تولید خودکار بازی یا بخشی از بازی را پیدا کند [۴].

۳-۱- هدف از گزارش

به گزارش مرکز تحقیقات بازی های دیجیتال تعداد بازیکنان ایرانی

1.Generator

2.Procedural Content Generation

و مجموع درآمد بازار بازی‌های دیجیتال در سال ۱۳۹۶ در ایران، به ترتیب برابر ۲۸ میلیون نفر و ۹۲۰ میلیارد تومان بوده است. سهم بازی‌های بومی از این درآمد چیزی حدود ۶ درصد بوده و این نشان‌دهنده عدم توازن رقابت میان بازی‌های ایرانی و خارجی است [۵]. برقراری توازن میان تولیدات بومی و تولیدات خارجی مستلزم تسهیل بخشی از فرآیند ساخت بازی است تا تولیدکنندگان داخلی بتوانند با مشکلات کمتری بازی‌های خود را توسعه دهند.

امروزه شرکت‌های نوپا و متوسطی در صنعت بازی‌های رایانه‌ای کشور فعال هستند و با چالش‌های موجود در تولید محتوا دست‌وپنجه نرم می‌کنند. با توجه به جایگاه خوب کشور در حوزه علوم کامپیوتر و هوش مصنوعی می‌توان با بکارگیری محققین این حوزه در زمینه‌ی PCG، چالش‌های تولید محتوای بازی را به‌صورت قابل‌توجهی کاهش داد. این امر باعث سهولت فرآیند ساخت بازی‌های رایانه‌ای شده و کفه ترازوی رقابت به سمت تولیدات بومی را سنگین‌تر خواهد کرد. با توجه به موارد مذکور، لازم است متخصصین و محققین این حوزه اطلاعات به‌روزی داشته باشند تا بتوانند به کمک این روش‌ها، چالش‌های موجود در تولید بازی را تا حد ممکن کاهش دهند. علاوه بر این نیاز است تا سیاست‌گذاران بازی‌های رایانه‌ای آشنایی کافی از کاربرد زمینه‌های موردتوجه علوم کامپیوتر نظیر هوش مصنوعی، محاسبات تکاملی و محاسبات عاطفی در صنعت بازی‌های رایانه‌ای و به‌خصوص حوزه‌ای چون تولید رویه‌ای محتوا داشته و با

ایجاد سیاست‌های مناسب حمایتی زمینه رشد و پیشرفت این حوزه را فراهم کنند. استفاده روش‌های رویه‌ای نه تنها باعث رشد و ارتقای جایگاه صنعت بازی‌های رایانه‌ای می‌شود؛ بلکه با توجه به نقش بازی‌های دیجیتال در حوزه فرهنگ و رسانه، باعث رشد و ترویج فرهنگ بومی نیز خواهد شد. هدف از این گزارش اثبات کارآمدی روش‌های تولید رویه‌ای محتوا با توجه به توانمندی موجود در داخل کشور است. در این گزارش تلاش می‌گردد تا در کنار ارائه اطلاعات کافی در مورد روش‌های تولید رویه‌ای محتوا و نیازمندی آن‌ها، پیش‌نیازهای توسعه این فناوری در بخش‌های آموزش، پژوهش و صنعت نیز به خواننده منتقل شود.

۱-۳- ساختار گزارش

در فصل دوم این گزارش محتوای بازی‌ها و روش‌های تولید این محتواها به صورت مفصل تشریح شده و از میان طبقه‌بندی موجود برای محتوای بازی‌ها یک طبقه‌بندی جامع نیز ارائه شده است. در فصل سوم PCG مورد بررسی قرار گرفته و خلاصه‌ای از فعالیت‌های علمی انجام شده در این زمینه ارائه شده است. در فصل سوم این گزارش نیازمندی لازم برای تولید محتوا و توانمندی‌های موجود در این زمینه مورد بررسی قرار گرفته و نتیجه‌گیری ارائه شده است. اطلاعات تخصصی در مورد PCG در انتهای گزارش ضمیمه شده است.

بخش دوم

بررسی محتوا و راه های تولید خود کار آن



بخش دوم

بررسی محتوا و راه‌های تولید خودکار آن

۲-۱- تولید رویه‌ای محتوا چیست؟

محتوای بازی چیست و چه چیزهایی را محتوای بازی می‌نامند؟ پاسخ این سؤال ساده است. چیزهایی است که در یک بازی وجود دارد مانند مراحل، نقشه‌ها، قوانین بازی، بافت‌ها، داستان‌ها، آیتم‌ها، مأموریت‌ها، موسیقی، سلاح، وسایل نقلیه، شخصیت‌ها و... محتوای بازی است. تولید رویه‌ای محتوا چیست؟ اصطلاحات «تولید» و «رویه‌ای» نشان‌دهنده این است که در این روش رویه‌های کامپیوتری یا الگوریتم‌هایی وجود دارند که چیزی را ایجاد می‌کنند. به بیان دقیق‌تر در PCG، محتوا با استفاده از الگوریتم‌ها و فرآیندهای کامپیوتری به‌صورت خودکار ایجاد شده و نیروی انسانی دخالت بسیار کمی در تولید محتوا دارد [۴]. نمونه‌هایی از PCG عبارت‌اند از:

- یک سامانه در بازی که مانند بازی اسپور^۱ توانایی ایجاد شخصیت بازی را به بازیکن بدهد.

- یک سامانه که داستان بازی را به‌صورت پویا و بر اساس وقایع

1. Spore

موجود در بازی ایجاد می‌کند.

- یک برنامه که حالات چهره شخصیت‌ها را بر اساس میزان صدای آن‌ها پویانمایی می‌کند.
- یک سامانه که به‌صورت پویا بر اساس نحوه بازی بازیکن سختی بازی را تنظیم می‌کند.
- یک سامانه که بر اساس وقایع موجود در بازی آهنگ برای بازی تولید کند.

• یک ابزار نرم‌افزاری که محیط‌های بسته را برای بازی اکشن ماجراجویی مانند Legend of Zelda بدون هیچ‌گونه کاربر انسانی ایجاد می‌کند و هر بار که ابزار اجرا می‌شود، یک مرحله جدید ایجاد می‌شود.

• یک سامانه که یک سلاح جدید را در یک بازی فضایی با توجه به مجموع رفتار بازیکن می‌سازد، به‌طوری که سلاح‌هایی که به بازیکن ارائه می‌شوند، نسخه‌های تکامل‌یافته‌ای از سلاح‌های دیگر هستند که بازیکنان از آن استفاده می‌کنند.

• یک موتور میان‌افزار که به‌سرعت دنیای بازی را با پوشش گیاهی پر می‌کند.

• یک برنامه که بازی‌های تخته‌ای کامل، قابل پخش و متعادل را به‌صورت خودکار تولید می‌کند و ممکن است از یک سری بازی‌های تخته‌ای پیش‌آماده برای شروع استفاده کند.

• یک ابزار طراحی گرافیکی که امکان طراحی نقشه برای یک

بازی استراتژیک را فراهم می‌کند و به‌طور مداوم خواص نقشه طراحی‌شده را در طول بازی ارزیابی می‌کند و نقشه بهبودیافته، متعادل و جالب‌تری را پیشنهاد می‌کند [۴].

اما چه محتوایی را می‌توان با PCG ایجاد کرد؟ برای پاسخ به این سؤال یک دسته‌بندی کلی توسط هنریکس^۱ و همکاران برای محتوایی که می‌توانند با PCG تولید شوند، در شکل ۱ ارائه شده است. این دسته‌بندی علاوه بر پوشش محتوای موجود در بازی، محتوای مشتق شده از بازی‌ها را هم پوشش می‌دهد [۲].



۲-۱-۱- تگه‌های بازی^۱

واحدهای ابتدایی بازی هستند که به‌تنهایی کاربر را درگیر بازی نمی‌کنند. شش دسته از تگه‌های شناسایی‌شده بازی عبارت‌اند از:

- بافت‌ها^۲: بافت‌ها تصاویری هستند که از آن‌ها برای افزودن جزئیات به مدل‌ها، اشکال هندسی بازی و ارائه عناصر بصری مانند فهرست استفاده می‌شود. بافت‌ها سبک هنری بازی را تعیین می‌کنند و معمولاً برای ایجاد جنس^۳ یک شیء و تعیین نحوه بازتاب نور توسط آن شیء بکار می‌روند.

- صدا: صدا تأثیر مهمی بر بازی می‌گذارد و به کمک آن جو و سرعت بازی تنظیم می‌شود. بازی به کمک جلوه‌های صوتی بازخوردهایی را نسبت به رفتار بازیکن نشان می‌دهد. در بازی‌های فعلی بیشتر از قطعه‌های موسیقی ضبط‌شده استفاده می‌شود.

- پوشش گیاهی: در بازی از پوشش گیاهی برای واقعی‌تر کردن محیط بازی و بستن محیط بازی استفاده می‌شود. برای مثال به کمک درختان در بازی می‌توان طرف دیگر یک رودخانه را پوشاند و محیط را به طرزی که بازیکن متوجه نشود، محدود کرد. البته از پوشش گیاهی علاوه بر محدودسازی، استفاده‌های دیگری مانند قرار دادن مخفیگاه و ... می‌شود.

- ساختمان‌ها: از ساختمان‌ها برای ایجاد محیط‌های شهری استفاده می‌شود. ساختمان‌ها بر گیم‌پلی^۴ بازی تأثیر می‌گذارند و بازیکنان اغلب فعالیت‌های خود را با توجه به موقعیت ساختمان‌ها برنامه‌ریزی

1.Game bits
2.Textures
3.Material
4.GamePlay

می‌کنند. برای مثال با توجه به منابع موجود در یک ساختمان و فاصله آن تا بازیکن، بازیکن تصمیم می‌گیرد تا به سمت آن برود.

- رفتار: رفتار در بازی‌ها عبارت است از روشی که اشیاء بازی و محیط باهم تعامل می‌کنند. رفتار باعث می‌شود تا بازی جذاب‌تر شده و به واقعیت نزدیک شود. تخریب اشیاء در هنگام انفجار نمونه‌ای از رفتار است.
- آتش، آب، سنگ و ابر: از آتش، آب، سنگ و ابر برای ایجاد دنیایی باورپذیرتر در بازی‌ها استفاده می‌شود. استفاده از این عناصر بیشتر جنبه تزئینی دارد و برای ایجاد این عناصر از بافت‌ها و صدا استفاده می‌شود.

۲-۱-۲- فضای بازی

فضای بازی محیطی است که در آن بازی انجام می‌شود و مملو از تکه‌های بازی است. فضای بازی نقش بسزایی در ایجاد تجربه بازیکن دارد؛ زیرا بازیکن ابتدا فضای بازی را درک می‌کند. مابین فضای داخلی و خارجی بازی از لحاظ زیبایی‌شناسی، فرهنگی و فنی تمایزهایی وجود دارد و به این علت این فضا به سه دسته تقسیم شده است. این دسته‌ها عبارت‌اند از:

- محیط‌های داخلی: نمایانگر مکان و موقعیت‌های فضای داخلی است که به چند اتاق تقسیم شده‌اند. اتاق‌ها به وسیله‌ی راهروها و راه‌پله‌ها به هم متصل شده و همگی در یک فضای بسته یک ساختار واحد را می‌سازند. فضاهای داخلی علاوه بر اتاق می‌توانند فضاهای بسته مانند غارها و سیاه‌چال‌ها نیز باشند.

- محیط‌های خارجی: محیط‌های خارجی نشان‌دهنده ارتفاع و ساختار زمین در نواحی بیرونی است. در بازی‌هایی با محیط‌های خارجی، محیط داخلی هم ممکن است وجود داشته باشد. با توجه به تفاوت در فناوری ارائه محیط‌های داخلی و محیط‌های خارجی انتقال بین این دو فضا به صورت مجزا انجام می‌شود.
- پهنه آبی: از پهنه آبی مانند رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و دریاها بیشتر به عنوان موانع نقشه بازی استفاده می‌شود. در برخی از موارد نیز پهنه آبی جزئی از فضای تعاملی بازی خواهد بود.

۳-۱-۲- منظومه‌های بازی

- با استفاده از سامانه‌های پیچیده و مدل‌سازی‌ها می‌توان بخشی از بازی را مانند شرایط واقعی شبیه‌سازی کرد. به این سامانه‌ها و مدل‌سازی‌ها منظومه‌های بازی می‌گویند. این منظومه‌ها بازی را جذاب‌تر و واقعی‌تر می‌کنند. ۴ دسته‌بندی برای منظومه‌های بازی در نظر گرفته شده و این دسته‌ها عبارت‌اند از:
- زیست‌بوم: زیست‌بوم به کمک قوانین و الگوریتم‌ها، جایگذاری، تکامل و تعامل گیاهان و جانوران درون بازی را کنترل می‌کند.
 - شبکه جاده‌ها: یکی از اساسی‌ترین ساختارهای موجود در محیط خارجی، شبکه جاده‌ها است. از شبکه جاده‌ها برای اهدافی نظیر جابجایی بین نقاط استفاده می‌شود.
 - محیط شهری: محیط‌های شهری دسته‌های بزرگی از ساختمان هستند و

مردم در آن‌ها با عناصر محیطی و یکدیگر تعامل دارند. برای گسترش شهرها با **PCG** الگوریتم‌ها رویکردهای متفاوتی را اتخاذ می‌کنند. استفاده از عوامل فرسایشی مانند آب‌وهوا به واقعی‌تر بودن این محیط کمک می‌کند.

• رفتار وجودی: برای اینکه شبیه‌سازی تجربه زندگی در یک محیط مجازی، لازم است تا بازیکن با محیط تعاملات بالایی داشته باشد. شخصیت‌های غیرقابل بازی که بازیکن با آن‌ها تعامل دارد کمک شایانی به ایجاد این تجربه می‌کنند؛ اما برای ایجاد این تجربه، این شخصیت‌ها نیاز به رفتارهای پیچیده‌ای دارند که به آن‌ها رفتار وجودی می‌گویند.

۲-۱-۴- سناریوهای بازی

سناریوهای بازی، مسیریایی که در آن حوادث بازی آشکار می‌شود را برای بازیکن شفاف می‌کنند. سناریوهای بازی شامل ۴ دسته‌اند و این دسته‌ها عبارت‌اند از:

- معما: معماها مسائلی هستند که بازیکن باید آن‌ها را بر اساس دانش قبلی یا با کشف راه‌حل جاسازی‌شده در فضای مسئله، حل کند.
- استوری‌برد: استوری‌برد طراحی‌هایی هستند که به بازیکنان و بازی‌سازان کمک کرده و آن‌ها را راهنمایی می‌کنند. این طراحی‌ها شبیه کمیک‌ها بوده و در آن‌ها از نوشته و نقاشی استفاده می‌شود.
- داستان: داستان کلید ایجاد لذت بردن از بازی است. داستان بازی

به بازیکنان انگیزه داده و مبنای منطقی برای رویدادهای موجود در بازی ارائه می‌دهد. علاوه بر این داستان برای بازیکن هدفی را ایجاد می‌کند.

- مراحل: از مراحل برای جدایی بین توالی‌های گیم‌پلی استفاده می‌شود. برای مثال در برخی از بازی‌ها مرحله از چند فضای مجزا ایجاد شده و بازیکن باید با کمک برخی از اعمال مانند پرش و ... از نقطه شروع به نقطه پایان برسد.

۲-۱-۵- طراحی بازی

طراحی بازی شامل قوانین (چه کارهایی در بازی مجاز است؟)، اهداف (بازیکن برای دستیابی به چه چیزی باید تلاش کند؟) و عناصر زیبایی‌شناسی است. یک بازی را می‌توان نمونه‌ای از طراحی بازی دانست که در آن قوانین و اهداف تعیین شده‌اند. طراحی بازی به دو دسته تقسیم شده و این دو دسته عبارت‌اند از:

- طراحی سامانه: طراحی سامانه بازی عبارت است از طراحی قوانین و اهداف بازی، همچنین تولید آن مستلزم ایجاد الگوهای ریاضی بر اساس بازی و قوانین بازی است. چالش اصلی در طراحی قوانین بازی ایجاد تعادل بین همه بازیکنان است.
- طراحی جهان: طراحی جهان بازی شامل طراحی محیط، داستان و زمینه‌ی^۱ بازی است.

۲-۱-۶- محتوای مشتق

محتوای مشتق محصولات جانبی دنیای بازی هستند و به غوطه‌وری بازیکن در دنیای بازی کمک می‌کنند. این محتواها به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند.

- اخبار: برخی از بازی‌ها با توجه به رفتار بازیکنان در بازی به آن‌ها خبرهای مختلفی را نشان می‌دهند.
- لیدر برد: لیدر برد همان جدول امتیازات بازیکنان است. از جدول امتیازات در بسیاری از بازی‌ها برای ایجاد رقابت استفاده می‌شود.

۲-۲- سابقه استفاده از PCG

از PCG بیش‌تر از ۲۰ سال است که در زمینه گرافیک کامپیوتری و در طیف وسیعی از برنامه‌ها برای ایجاد اختلال در بافت‌ها، ایجاد بافت سه‌بعدی مواد طبیعی مانند سنگ مرمر و چوب، ایجاد مدل‌های شبیه به واقعیت مانند درختان و انواع گیاهان و ایجاد بافت‌های سلولی دقیق مانند پوست استفاده می‌شود [۶]. استفاده از PCG در بازی‌ها نیز منحصر به زمان اخیر نیست بلکه اولین استفاده از PCG به سال ۱۹۷۸ و به بازی Beneath Apple Mano برمی‌گردد. در این بازی با استفاده از PCG سیاه‌چال‌های بازی ایجاد می‌شد [۱]. در اوایل دهه ۸۰ میلادی محدودیت ذخیره‌سازی بازی، بازی‌سازان را بر آن داشت تا از روش‌هایی رویه‌ای برای ایجاد بازی استفاده کنند. در بازی Elite که در سال ۱۹۸۴ ساخته شد از

روش رویه‌ای برای تولید ۸ کهکشان با ۲۵۶ سیاره متمایز استفاده شد [۴]. جدول ۱ تعدادی از بازی‌هایی که PCG در آن‌ها استفاده شده را نمایش می‌دهد [۱] [۴] [۷] [۸]. در این جدول علاوه بر بازی‌ها، بخشی که در آن‌ها PCG استفاده شده نیز مشخص شده است.

بازی (سال انتشار)	تکه‌های بازی	فضای بازی	سیستم‌های بازی	سناریوهای بازی
Borderlands (2009)	x			
Diablo I (2000)		X		
Diablo II (2008)		X		
Dwarf Fortress (2006)		X	X	x
Elder Scrolls IV: Oblivion (2007)	x			
Elder Scrolls V: Skyrim (2011)				x
Elite (1984)		X	x	x
EVE Online (2003)	x	X		x
Facade (2005)				x
FreeCiv and Civilization IV (2004)		X		
Fuel (2009)		X		
Gears of War 2 (2008)	x			
Left4Dead (2008)				x
kkrieger (2004)	x			
Minecraft (2009)		X	x	
Noctis (2002)		X		
RoboBlitz (2006)	x			
Realm of the Mad God (2010)	x			
Rogue (1980)		X		x
Spelunky (2008)	x	X		x
Spore (2008)	x	X		
Torchlight (2009)		x		

بازی (سال انتشار)	تکه‌های بازی	فضای بازی	سیستم‌های بازی	سناریوهای بازی
X-Com: UFO Defense (1994)		X		
Crusader Kings II (2012)			X	
Middle-earth: Shadow of Mordor (2014)			X	
Fruit Dating (2014)			X	
Galactic Arms Race (2010)				X
No Man's Sky (2016)		X	X	
Tronix Defender (2019)				X
Dead Ground (2018)				X

جدول ۱: بازی‌هایی که در آن‌ها از PCG استفاده شده است.

♦ برای پیاده‌سازی بازی یا بخشی از آن به کمک PCG روش‌های مختلفی وجود دارد و پیاده‌سازی رویه‌ای یک محتوا ممکن است با یک گرامر ساده یا با مباحث پیچیده هوش مصنوعی انجام شود. تاگلیوس^۱ و همکاران در [۴] ابعاد مختلفی برای طبقه‌بندی PCG ارائه داده‌اند و این ابعاد به برجسته کردن شباهت‌ها و تفاوت‌ها میان روش‌های پیاده‌سازی PCG کمک می‌کند.

-روش‌های PCG می‌توانند به‌صورت آنلاین مانند وقتی که بازیکن در حال بازی است انجام شود. با استفاده از روش‌های آنلاین PCG می‌توان یک بازی به‌صورت بی‌نهایت ایجاد نمود یا می‌توان با تحلیل رفتار بازیکن در حین بازی وضعیت بازی را تغییر داد. البته می‌توان به کمک روش‌های آفلاین PCG، محتوا را در طول توسعه بازی یا قبل از

1.Togelius

اجرای بازی ایجاد کرد. استفاده از PCG آفلاین هنگام تهیه مطالب پیچیده مانند محیط‌ها و نقشه‌ها بسیار مفید است.

۲-۳-۲- ضروری در مقایسه با اختیاری

PCG می‌تواند برای تولید محتوای لازم که بازیکن برای به پایان رساندن مرحله به آن نیاز دارد، استفاده شود و یا برای تولید محتوای اختیاری که محتوای کمکی است، استفاده می‌شود. تفاوت بین محتوای لازم و اختیاری این است که محتوای لازم همیشه باید درست باشد؛ درحالی‌که این شرایط برای محتوای اختیاری برقرار نیست. برای مثال یک بخش که برای ارتقای سلاح استفاده می‌شود یک محتوا اختیاری است؛ اما یک کلید که از آن برای عبور از یک مرحله استفاده می‌شود ضروری است.

۲-۳-۳- درجه و ابعاد کنترل

تولید محتوا به کمک PCG می‌تواند با روش‌های مختلف کنترل شود. استفاده از بذر تصادفی^۱ یک‌راه برای کنترل فضای تولید است. راه دیگری استفاده از مجموعه‌ای از ورودی‌هایی است که تولید محتوا را کنترل می‌کنند.

1.Random Seed

۲-۳-۴- عمومی در مقابل تطبیقی

تولید محتوا به صورت عمومی به نمونه ای از PCG اشاره دارد که محتوا در آن بدون توجه به رفتار قبلی بازیکن تولید می شود. در تولید محتوا به صورت تطبیقی ابتدا رفتار بازیکن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و متناسب با آن محتوا تولید می شود.

۲-۳-۵- تصادفی در مقابل قطعی

در PCG قطعی با استفاده از روش و تنظیمات یکسان می توان نتایج یکسانی را به دست آورد؛ اما در PCG تصادفی نتایج هر بار اجرا در شرایط یکسان متفاوت است.

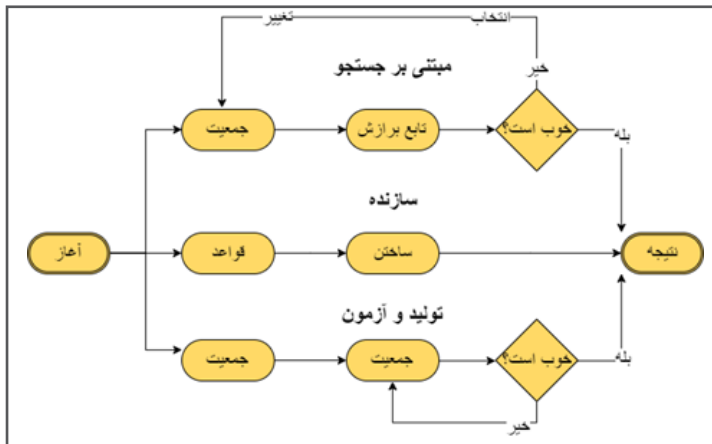
۲-۳-۶- تولید خودکار در برابر تولید با نظارت ترکیبی

در PCG خودکار مقدار ورودی های محدودی برای کنترل وجود دارد تا الگوریتم تولیدکننده محتوا را تنظیم کند. هدف اصلی PCG تولید محتوای قابل بازی به صورت نامتناهی است و به صورت خودکار برآورده نمی شود. در PCG با نظارت ترکیبی، بازیکنان و طراحان بازی با الگوریتم به نحوی تعامل می کنند تا محتوای مطلوب را تولید کند.

۲-۴- روش های تولید رویه ای محتوا

برای ساخت محتوا به صورت رویه ای روش های مختلفی وجود دارد.

سه روش سازنده، تولید و آزمون و مبتنی بر روش‌های مرسوم تولید محتوا هستند [۹]. در هر کدام از این روش‌ها علاوه بر علوم کامپیوتر از حوزه‌های دیگر علوم مانند هوش مصنوعی و ... استفاده می‌شود. این سه روش به صورت خلاصه در شکل ۲ ارائه شده‌اند. علاوه بر سه روش مذکور روش دیگری با کمک یادگیری ماشین نیز وجود دارد [۷]. در این قسمت تمامی این روش‌ها به صورت مختصر توضیح داده می‌شود.



شکل ۲: انواع روش‌ها تولید رویه‌ای محتوا

۲-۴-۱- روش‌های سازنده^۱

در روش سازنده محتوا فقط یک‌بار ایجاد می‌شود و در هنگام تولید باید از درست بودن محتوای ساخته‌شده اطمینان کامل را به دست آورد. پس از تولید محتوا کیفیت آن ارزیابی نمی‌شود. معمولاً روش سازنده ساده است و با کمک قواعد و مدل انتزاعی آنچه قرار است

1.Constructive

تولید شود، پیاده‌سازی می‌شود [۷].

۲-۴-۲- روش‌های تولید و آزمون^۱

در روش‌های تولید و آزمون الگوریتم شامل سازوکارهای تولید و آزمایش است. محتوا در این الگوریتم تولید شده و با برخی از معیارها آزمایش می‌شود. اگر محتوا مناسب نباشد تمام یا بخشی از محتوا یا دور انداخته شده و یا بازسازی می‌شود. این فرآیند تا تولید محتوای قابل قبول ادامه می‌یابد. تولید رویه‌ای مبتنی بر جستجو نمونه‌ی خاصی از این روش است [۷].

۳-۴-۲- روش‌های مبتنی بر جستجو^۲

روش‌ها مبتنی بر جستجو در تحقیقات دانشگاهی سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. در تولید محتوای رویه‌ای مبتنی بر جستجو، فرض اصلی این است که راه‌حل در فضای بزرگی به اسم فضای حل موجود است و با استفاده از الگوریتم تکاملی یا تعدادی الگوریتم جستجو یا بهینه‌سازی تصادفی، محتوا با کیفیت‌های مورد نظر ایجاد می‌شود [۴]. سه مؤلفه اصلی در روش مبتنی بر جستجو عبارت‌اند از:

- الگوریتم جستجو: الگوریتم جستجو موتور اصلی روش رویه‌ای است و از الگوریتم‌های تکاملی ساده تا پیچیده را شامل می‌شود.
- تمثال^۳ محتوی: نشان‌دهنده محتوی مدنظر در یک الگوریتم

1.Generate and Test
2.Search-Based
3.Presentation

است. برای مثال اعداد حقیقی درون یک آرایه که در الگوریتم مورد ارزیابی می‌گیرند نمونه‌ای از تمثال محتوی هستند.

- تابع ارزیابی: تابع ارزیابی محتوی تولیدشده را بررسی می‌کند و به آن امتیاز می‌دهد. ارزیابی می‌تواند به‌صورت مستقیم باشند و کیفیت محتوا مستقیماً از تمثال آن به دست بیاید. روش دیگر ارزیابی مبتنی بر شبیه‌سازی بوده و به کمک عامل هوش مصنوعی ارزیابی انجام می‌شود. علاوه بر روش‌های مذکور ارزیابی می‌تواند تعاملی باشد و بر اساس تعامل انسان با ماشین انجام شود. برای مثال هستینگ^۱ و همکاران در مقاله کیفیت یک اسلحه را بر اساس مدت‌زمان استفاده بازیکن از آن در بازی می‌سنجیدند [۴].

۲-۴-۴- تولید رویه‌ای محتوا با یادگیری ماشین^۲ (PCGML)

PCGML روش جدید دیگری است که در PCG استفاده می‌شود و یادگیری ماشین نقش عمده‌ای را در آن ایفا می‌کند. در این روش از یادگیری ماشین و روش‌های آماری استفاده می‌شود تا با تحلیل محتوا، مؤلفه‌هایی را از آن‌ها استخراج کرده و به کمک این مؤلفه‌ها، محتوا به‌صورت رویه‌ای ایجاد شود [۷].

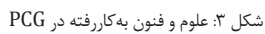
۲-۳- علوم و فنون به‌کاررفته در PCG

در PCG از علوم و فنون مختلف حوزه‌های علوم کامپیوتر، هوش مصنوعی و زبان‌شناسی نظری استفاده می‌شود. این علوم و

1.Hastings

2.Procedural content generation via machine learning

فنون در شکل ۳ نمایش داده شده و توضیحات آن در پیوست ارائه شده است. شکل ۳ نشان می‌دهد که در PCG بیشتر از علوم کامپیوتر و هوش مصنوعی استفاده می‌شود. زیرشاخه‌های علوم کامپیوتر بیشتر روش‌های ابتدایی هستند اما زیرشاخه‌های هوش مصنوعی خود حوزه‌ای جدید بوده و پیچیدگی بیشتری دارند. تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد که محققان PCG به سمت هوش مصنوعی علاقه‌مند شده ولی از تکنیک‌های علوم کامپیوتر و زبان‌شناسی نظری نیز استفاده می‌کنند.



۲-۳- تحقیقات علمی انجام شده در PCG

تحقیقات بسیاری در زمینه PCG انجام شده و طیف وسیعی از روش‌های مختلف PCG و حوزه‌های مختلف علوم کامپیوتر در این روش‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این قسمت برخی از این تحقیقات به صورت خلاصه مورد بررسی قرار می‌گیرد. صادقی اسفهلانی و تامپسون^۱ در [۱۰] با استفاده از PCG طرحی را برای بازی جدی در زمینه فیزیوتراپی ارائه داده است. تمرکز بازی بر توان بخشی بیماران است که سکتة مغزی کرده‌اند. در این بازی تلاش می‌شود تا بازیکن با توجه به توانایی‌اش حرکات اصلاحی را انجام دهد به گونه‌ای که از انجام آن‌ها سرخورده نشود. بازی بر اساس محدودیت‌های حرکتی بازیکن و خواسته‌های پزشک به کمک الگوریتم ژنتیک مرحله‌ای در حد توانایی بیمار، با کمترین احتمال آسیب و مفید برای درمان بیمار ایجاد می‌کند. در شکل ۳ مرحله‌ای از بازی نشان داده شده است.

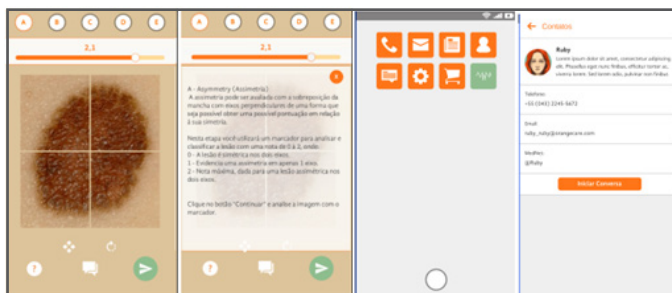
1. Thompson



شکل ۴: نمونه‌ای از بازی با تمرکز بر برداشتن اشیاء

پرییرا^۱ و همکاران در [۱۱] با استفاده از PCG یک بازی ایجاد کردند که در آن مطالب آموزشی در مورد ضایعات پوستی به صورت داستان به پزشکان ارائه می‌شود. در این بازی شخصیت‌هایی وجود دارند که لکه‌های پوستی متفاوتی دارند و بازیکن باید تشخیص دهد که آیا لکه موجود در بیمار سرطان است یا خیر و تصمیم‌گیری در مورد مراجعه بیمار به بخش پوست را انجام دهد. لکه‌های پوستی از چندین پایگاه داده معتبر برداشته شده است. با استفاده از PCG سختی بازی مطابق با عملکرد بازیکن بوده، شخصیت‌ها از جنبه‌های جسمی بیمار مانند سن، جنسیت و رنگ متفاوت است و دیالوگ‌های متفاوتی برای شخصیت‌ها ایجاد می‌شود. در شکل ۴ نمونه‌ای از گیم‌پلی بازی ارائه شده است.

1. Pereira



شکل ۵: نمونه‌ای از گیم‌پلی بازی در سمت راست شخصیت با بازیکن ارتباط برقرار می‌کند و در سمت راست نشانه‌های پوستی او نمایش داده شده است.

مندونسا^۱ و زیویانی^۲ در [۱۲] روشی را برای ایجاد داستان به کمک PCG ارائه دادند. در روش آن‌ها کاربر ویژگی‌های شبکه بدون مقیاس خود را توصیف کرده و یک شبکه رویداد نیز ایجاد می‌کند. بر اساس درجه هر گرهی شبکه برای آن گره یک نقش مشخص می‌شود. هر نقش تعدادی عمل می‌تواند انجام دهد و هر عمل نتیجه‌ای را در پی خواهد داشت. در انتها رویدادی در شبکه اتفاق می‌افتاد و بر اساس شبکه رویداد تعریف‌شده داستان به‌صورت پویا ایجاد می‌شود.

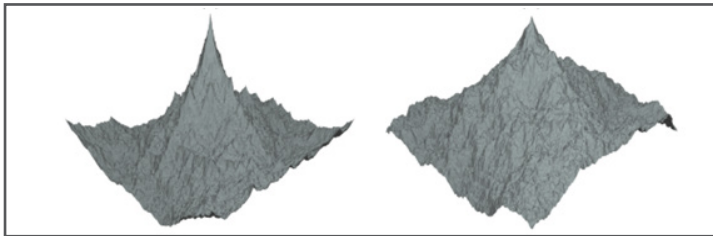
تاگلیوس و همکاران در [۱۳] با استفاده از داده‌های بازی^۳ یک بازی ماجراجویی ایجاد کردند. آن‌ها با استفاده از یک خزگر^۴ و داده‌های موجود در ویکی‌پدیا^۵ و دی‌بی‌پدیا^۶ اشخاص مرتبط به هم را پیدا کرده و از آن‌ها برای تولید شخصیت‌های بازی و داستان بازی استفاده نمودند. در این تحقیق مقالات ویکی‌پدیا با استفاده از الگوریتم‌های

1.Mendonça
2.Ziviani
3.Open data
4.Crawler

5.Wikipedia
6.DBpedia

سازنده به اشیا بازی تبدیل می‌شوند. بازیکنان به شهرها و ساختمان‌های مختلف رفته و با شخصیت‌های بازی تعامل می‌کنند تا به هدف نهایی بازی برسند.

بلهاج^۱ در [۱۴] یک الگوریتم مبتنی بر برخال^۲ برای ایجاد نقشه‌های دیجیتالی ارائه داد. در روش بلهاج ابتدا محدودیت‌هایی در اندازه ارتفاع موجود در زمین اعمال می‌شود. سپس طی یک فرآیند و به کمک مقداری اختلال، ارتفاعاتی در بازه محدودیت‌ها درون‌یابی می‌شود و به زمین اعمال می‌شود. نمونه‌ای از زمین ایجادشده در شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل ۶: نمونه‌ای از زمین ساخته‌شده با روش بلهاج

جانسون^۳ و همکاران [۱۵] از یک ماشین خودکار سلولی^۴ برای تولید غار استفاده کردند. آن‌ها ابتدا یک مربع 50×50 سلولی را در نظر گرفتند. هر سلول دارای یکی از دو نوع کف یا دیوار است. نوع همه سلول‌های مربع را برابر با کف^۵ قرار داده شده و در ادامه نوع $\%r$ از سلول‌ها به صورت تصادفی به دیوار تغییر داده می‌شود. ماشین خودکار سلولی n بار اجرا شده و چنانچه مجموع مقدار همسایه‌های

1. Belhadj

2. Fractal

3. Johnson

4. Cellular automata

5. Floor

یک سلول بیشتر از T باشد، آن سلول تغییر نوع می‌دهد. مقادیر r, n و T را طراح مشخص می‌کند. پس از تولید شبکه اولیه، این روند در شمال، جنوب، شرق و غرب شبکه، با یک هسته تصادفی اجرا می‌شود. در انتها اگر شبکه‌های تولیدشده متصل نباشند؛ بین شبکه‌ها مسیر ایجاد شده و شبکه‌ها به هم متصل می‌شوند.

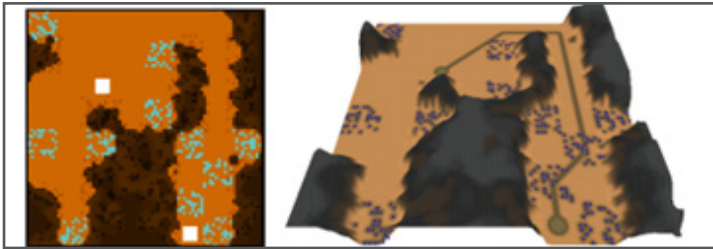


شکل ۷: محیط ایجادشده با روش جانسون و همکاران

لیاپیس^۱ و همکاران [۱۶] از یک روش ترکیبی-ابتکاری برای تولید مرحله استفاده کرده‌اند. در این روش کاربر در محیط بازی تغییراتی را ایجاد می‌کند. با هر بار تغییر، ۶ الگوریتم ژنتیک با توابع برآزش مختلف برای تولید مراحل با حداکثر برآزش اجرا می‌شود. هفتمین الگوریتم ژنتیک برای تولید مراحل دارای نوآوری اجرا می‌شود. خروجی ۶ الگوریتم اول، پیشنهاد ۶ مرحله بر اساس برآزش توابع مختلف است. خروجی الگوریتم هفتم پیشنهاد ۶ مرحله جدید به

1.Liapis

کاربر است. درمجموع ۱۲ مرحله جدید به کاربر پیشنهاد می‌شود. کاربر مرحله مدنظر خود را انتخاب کرده و تغییرات را روی آن انجام می‌دهد. این روند تا پایان ساخت نقشه مدنظر کاربر ادامه دارد.



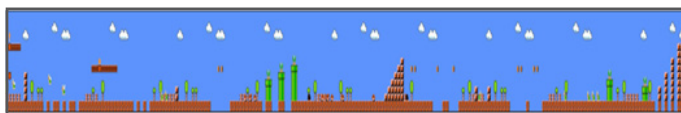
شکل ۸: محیط ۲ بعدی و ۳ بعدی ایجادشده به روش لیاپیس و همکاران

تاگلیوس^۲ و داهل اسکوگ^۳ [۱۷] از الگوها برای تولید مرحله در بازی ماریو^۴ استفاده کردند. آن‌ها ابتدا صفحه بازی را به برش‌هایی به طول ۱ واحد و ارتفاع ۲۲ واحد تقسیم کرده و هر برش را میکرو الگو^۵ نامیدند. سپس با پردازش مراحل موجود در بازی ماریو، در هر مرحله یک توالی از میکرو الگوهای مشترک را پیدا کردند و آن را مزو الگو^۶ نامیدند. سپس با کمک الگوریتم تعاملی مرحله‌ای با طول ۲۰۰ واحد تولید کرده و با بررسی توابع برازش بر اساس اختصاص ارزش یکسان برای هر الگو، اختصاص ارزش یکسان برای تکرار الگو در هر بار و اختصاص ارزش وزن‌دار متفاوت برای تکرار الگو در هر بار به این نتیجه رسیدند که استفاده از تابع برازش بر اساس اختصاص ارزش وزن‌دار متفاوت برای تکرار الگو، طیف متنوع‌تری از

1.Liapis
2.Togelius
3.Dahlskog
4.Mario

5.Micro Pattern
6. Meso Pattern

مراحل را پوشش می‌دهد. آن‌ها در پژوهش دیگری [۱۸] کار قبل را توسعه داده و مفهوم دیگری به نام ماکرو الگو^۱ برای پوشش حجم بیشتر الگوها ارائه دادند. ماکرو الگو ترکیبی از مزو الگوهای متوالی است. در ادامه آن‌ها توابع برازش مختلفی را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که استفاده از مزو الگوهای وزن دار و ماکرو الگوها برای بازی‌هایی که مراحل بزرگ‌تری نیاز دارند مناسب است و با توجه به اندازه مرحله باید تابع برازش را انتخاب نمود.



شکل ۹: مرحله ایجادشده با روش تاگلیوس و همکاران

بالدوین^۲ و همکاران [۱۹] یک روش برای تولید سیاهچاله^۳ به صورت ترکیبی-ابتکاری در قالب یک مولد ارائه دادند. آن‌ها یک مولد به نام سیاهچال ساز تکاملی^۴ (EDD) ایجاد کردند. این مولد از الگوریتم 2pop-FI برای توزیع همه عناصر مانند دیوار، دشمن، جایزه در هر اتاق استفاده می‌کند. برای تولید اتاق از ۶ نوع کاشی مختلف و ۵ میکرو الگو استفاده شده است. هر اتاق دارای جمعیت اولیه تصادفی از پارامترهای ورودی مربوط به نوع و کمیت الگوهای طراحی اتاق موردنظر، میزان سختی هدف، مقدار گنج و دشمنان بر اساس یک پیکربندی تعریف‌شده توسط کاربر است. آن‌ها در پژوهش دیگری [۲۰] نسخه قبلی EDD را گسترش دادند و مفهوم مزو الگو را

1. Macro Pattern
2. Baldwin
3. Dungeon
4. Evolutionary Dungeon Designer

در آن پیاده‌سازی کردند. همچنین امکان تعامل طراح و مولد، افزایش پیدا کرده است. در این نسخه ابتدا تعدادی نقشه‌ی پیشنهادی ارائه داده می‌شود و کاربر پس از انتخاب نقشه روند بازسازی و پالایش دستی را برای ایجاد یک اتاقی که انتظاراتش را برآورده کند، دنبال می‌کند. آن‌ها در پژوهش دیگری [۲۱] EDD را گسترش دادند و برای حفظ و رعایت معیارهای زیبایی‌شناسی از سه روش قفل کردن بخشی از اتاق، تقرارن و تشابه استفاده کردند.



شکل ۱۰: مرحله ایجادشده با روش بالدوین و همکاران

بالایی مقدم و کچویی رفسنجانی [۲۲] یک سامانه برای تولید مرحله بازی ارائه داده‌اند. در این سامانه با توجه به ضرب‌آهنگ^۱ کارهای بازیکن در بازی، محتوا تولید می‌شود. در این سامانه ابتدا یک

1.Rhythm

ضرب‌آهنگ اولیه از کارهای بازیکن ایجاد کرده و سپس به کمک الگوریتم ژنتیک ضرب‌آهنگ نهایی ایجاد می‌شود. مولد به کمک ضرب‌آهنگ نهایی یک محیط قابل بازی را ایجاد می‌کند. برای تولید یک مرحله چندین گروه ضرب‌آهنگ باهم ترکیب شده و تزئین کننده بر اساس ضرب‌آهنگ، اشیاء و موانع را در محیط جایگذاری می‌کند.

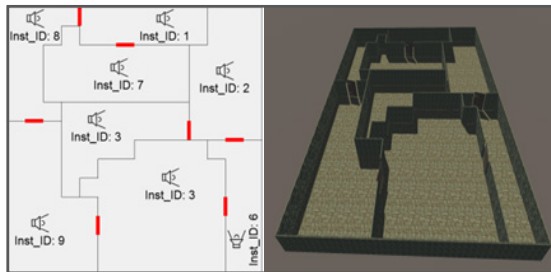


شکل ۱۱: مرحله ایجادشده با روش بلالی مقدم و کوچویی رفسنجانی

لوپز^۱ و همکاران [۲۳] یک سامانه به اسم سونانسیا^۲ برای ایجاد رویه‌ای محیط دارای صدا در بازی ارائه دادند. هدف این سیستم ایجاد احساس وحشت به کمک صدا است. در این سیستم ابتدا محیط

1. Lopez
2. Sonancia

به کمک الگوریتم ژنتیک ایجاد می‌شود و سپس عناصر صوتی را به صورت تصادفی و انتخاب بدون جایگذاری، از میان ۵۰ صدای ضبط شده انتخاب می‌کند و در هر اتاق قرار می‌دهد. سپس در زمان اجرا شدت پخش صدا را بر اساس فاصله بازیکن نسبت به اتاق‌ها تغییر می‌دهد به گونه‌ای که اگر یک اتاق صدای مشخصی داشته باشد با نزدیک شدن کاربر به ورودی اتاق دیگر، شدت پخش صدای اتاقی که کاربر داخل آن است کم شده و صدای اتاقی که بازیکن به آن نزدیک می‌شود پخش می‌شود. آن‌ها در پژوهش دیگری [۲۴] کار خود را گسترش داده و در تولید مراحل عناصری مانند هیولا و اقسام مأموریتی^۱ را در نظر گرفتند. سپس به هر اتاق چنانچه هیولا در آن بود مقدار تنش ۱ و چنانچه خالی بود مقدار تنش ۰,۵ را اختصاص دادند و با سنجش تنش در مسیر رسیدن به هدف و مسیر بحرانی رسیدن به هدف مراحل را تولید کرده و عناصر صوتی را در آن توزیع کردند.



شکل ۱۲: مرحله ایجاد شده با روش لوپز و همکاران

1. Quest items

بران^۱ و مایر^۲ در [۲۵] سامانه ای به نام لودی^۳ برای طراحی بازی های تخته ای ایجاد کردند. روش آن ها به صورت آفلاین بوده و از الگوریتم ژنتیک در آن استفاده شده است. در این تحقیق ابتدا قوانین بازی به کمک لودی توصیف شده و سپس باهم ترکیب می شوند تا یک جمعیت جدید به وجود بیاید. سپس عمل کراس اور^۴ و جهش انجام می شود. در ادامه بازی جدید توسط کامپیوتر بازی شده و طبق برخی از معیارها آزمایش می شود. اگر بازی با موفقیت آزمایش را پشت سر نگذارد از جمعیت حذف خواهد شد. بازی هایی که با موفقیت آزمایش را پشت سر بگذارند به طبق امتیازشان در جمعیت اولویت بندی می شوند. این عمل چنین بار انجام می شود و در انتها بازی با بیشترین امتیاز انتخاب می شود.

هستینگز^۵ و همکاران در [۲۶] بازی را ایجاد کردند که در آن بازیکنان سلاح های منحصر به فرد و جدیدی را بر اساس سلاح های مورد علاقه به دست می آورند. آن ها در این روش با کمک شبکه ی عصبی با استفاده از چندین اسلحه با شلیک ساده، سلاح هایی با شلیک پیچیده تولید می کردند. در این روش سلاح هایی که بیشتر مورد استفاده قرار می گرفتند احتمال پیشرفت بیشتری داشته و سلاح جدید بر اساس آن ها ساخته می شود.

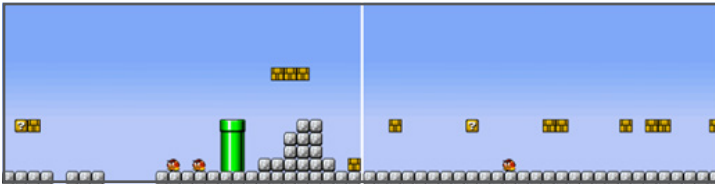
1.Browne
2.Maire
3.Ludi
4.CrossOver

5.Hastings



شکل ۱۳: مرحله ایجادشده با روش هستینگز و همکاران

وانسا^۱ و همکاران در [۲۷] روشی را ارائه دادند که با استفاده از یادگیری ماشین مراحلی را برای بازی‌ها ایجاد می‌کرد. آن‌ها ابتدا شبکه مولد متخاصم^۲ را با استفاده از مراحل بازی واقعی آموزش داده و سپس شبکه مراحل جدیدی را ایجاد می‌کرد. در این مقاله برای بازی Super Mario Bros مراحل جدید ایجاد می‌شود. روش کلی آن‌ها در دو گام انجام می‌شود. در گام اول شبکه به روش بدون ناظر آموزش داده می‌شود تا مراحلی را ایجاد کند. در گام دوم بردارهای نهفته‌ای^۳ جستجو می‌شود تا مراحل با ویژگی خاصی تولید شود. در شکل ۱۱ دو مرحله ایجادشده توسط این روش نمایش داده شده است.



شکل ۱۴: مراحل ایجادشده توسط روش وانسا و همکاران. در تصویر سمت راست مرحله با حداقل نیاز به پرش و در سمت چپ با حداکثر نیاز به پرش ایجاد شده است.

1. Vanessa
2. Generative Adversarial Networks
3. latent vectors

بخش سوم

نیازمندی ها و توانمندی های موجود برای
ایجاد محتوا بازی



فصل ۳- نیازمندی‌ها و توانمندی‌ها موجود برای ایجاد محتوای بازی

۳-۱- نیازمندی‌های تولید محتوا

برای ایجاد بازی و محتوای موجود در آن امکانات مختلفی نیاز است. این امکانات شامل نرم‌افزارها، سخت‌افزارها، نیروی انسانی و ... است. در این فصل علاوه بر ارائه نیازمندی موجود برای ساخت بازی و محتوای آن نیازمندی‌ها لازم برای ایجاد محتوا به صورت روبه‌ای نیز بررسی می‌شود.

۳-۱-۱- نیازمندی‌های ایجاد بازی به صورت دستی

سخت‌افزارهای لازم برای ایجاد بازی‌ها بسته به نوع بازی، متفاوت است و شامل کامپیوتر، موشن کیچر و ... می‌شود. نرم‌افزارهای ایجاد بازی نیز بسته به فناوری و زیرساخت شرکت‌ها طیف متنوعی دارند و ممکن است از نرم‌افزارهای تجاری یا نرم‌افزاری انحصاری برای تولید بازی استفاده شود. نیروهای انسانی لازم برای ایجاد یک بازی ویدیویی شامل جایگاه‌های شغلی مختلفی می‌شود و این جایگاه‌ها خود به چندین زیرشاخه تقسیم می‌شوند [۲۸]. این جایگاه‌ها شغلی عبارت‌اند از:

- طراح
- نویسنده
- برنامه‌نویس
- طراح جلوه‌های دیداری^۱
- طراح محتوای شنیداری^۲
- مدیر
- آزمایش‌کننده
- بازرگان
- روزنامه‌نگار

پیدا کردن نیروهای حرفه‌ای و خبره برای جایگاه‌های شغلی مذکور کار آسانی نیست و یک چالش محسوب می‌شود. در تولید بازی به‌صورت دستی علاوه بر هزینه‌ی تهیه امکانات، دستمزد نیروهای توسعه‌دهنده بازی هم هزینه‌بر بوده و این دستمزد به‌صورت شناور تغییر می‌کند؛ چنانچه حجم محتوای بازی بزرگ باشد نیازمند نیروی انسانی بیشتر و مدت‌زمان بیشتری است و باعث رشد هزینه‌ها می‌شود. با توجه به حجم زیاد بازی‌ها نیاز است تا گروه بازی‌سازی مدت‌زمانی را صرف بهینه‌سازی بازی بکند؛ این امر مستلزم نیروهای خبره و منابع مالی قابل‌توجه است. همچنین برای اینکه بازیکنان به بازی علاقه‌مند باشند باید محتوای بازی منحصر به فرد بوده و مطابق با سلیقه‌ی آن‌ها باشد و به همین منظور لازم است تا گروه تولید بازی از سلیقه مخاطبین خود آگاه بوده و

1. Visual Artist
2. Audio Artist

خلاقیت مناسبی داشته باشند.

۳-۱-۲- نیازمندی‌های لازم برای PCG

نیازمندی‌های سخت‌افزاری لازم برای PCG تفاوت چندانی با تولید محتوا به صورت دستی ندارند اما از بعد نرم‌افزاری و نیروی انسانی شامل روش‌های موجود در شکل ۳ و نیازمندی آن‌ها است. با بررسی شکل ۳ و کارهای علمی ذکر شده در فصل ۲ این نتیجه به دست می‌آید که در PCG محققان حوزه‌های علوم کامپیوتر و هوش مصنوعی بخش عمده‌ای از کار را انجام می‌دهند و چنانچه محتوا از جنبه‌های سایر علوم نظیر روانشناسی، هنر و ... نیازمند بررسی باشد، همکاری با محققین این حوزه نیز لازم است. لازم به ذکر است، می‌توان این‌گونه استنباط نمود که برای PCG به تعدادی محقق و تعداد کمی برنامه‌نویس نیاز است.

۳-۲- توانمندی‌های تولید محتوا

در تولید محتوای بازی، هر کدام از روش‌ها توانمندی‌های مناسبی دارند. در اینجا تلاش می‌شود تا توانمندی هر کدام از روش‌ها بررسی شود.

۳-۱-۲- توانمندی‌های تولید محتوای دستی

در تولید محتوا به صورت دستی محتوا از لحاظ قابل استفاده بودن،

مطمئن است و محتوای غیرقابل استفاده در بازی استفاده نمی‌شود. چنانچه گروه بازی‌ساز از افراد خلاق بهره‌بردار محتوای بازی دارای خلاقیت انسانی خواهد بود.

۳-۲-۱- توانمندی‌های PCG

در زمینه PCG با توجه به جایگاه اول منطقه‌ای علوم کامپیوتر ایران در رده‌بندی سایمگو^۱، می‌توان این‌گونه استنباط کرد که ایران از لحاظ محققین موردنیاز برای فعالیت در این حوزه توانمندی بسیار مطلوبی دارد. استفاده از تولید رویه‌ای محتوا باعث می‌شود تا نیاز به نیروهای مختلف برای تولید بازی کاهش یافته و در نتیجه تولید بازی با نیروی خبره کمتری انجام پذیرد؛ این کار باعث کاهش هزینه پرداخت دستمزد شده و هزینه‌های تولید بازی را کاهش می‌دهد. چنانچه محتوا به‌صورت رویه‌ای تولید شود می‌توان از الگوریتم‌هایی با حجم کم برای تولید بازی استفاده کرد؛ در این صورت نیازی به کاهش حجم بازی نخواهد بود و لازم نیست تا منابع و مدت‌زمان زیادی را صرف این کار نمود. با کمک PCG می‌توان بازی را به‌صورت تعاملی با بازیکن ایجاد کرده و بازی با توجه به سلیقه بازیکن و عملکرد او ادامه پیدا کند؛ در این صورت برای هر مخاطب بازی مطابق سلیقه او پیش خواهد رفت و چالش تولید محتوای فراگیر و مطابق با سلیقه حداکثر افراد کاهش می‌یابد. در PCG با کمک برخی از الگوریتم‌ها می‌توان محتوای بسیار بزرگ

1.SCIImago

و متفاوت بدون نیاز به نیروی انسانی زیاد ایجاد کرد و این امر باعث می‌شود تا با هزینه کمتر مدت‌زمان انجام بازی را افزایش داد [۴].

۳-۳- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در شرایط کنونی شرکت‌های داخلی توانایی هزینه‌های عظیم چند میلیون دلاری نداشته و طبیعتاً برای تولید محتوای عظیم با چالش مواجه خواهند شد. علاوه بر مباحث مالی صنعت بازی‌سازی ایران صنعت نوپایی بوده و پیدا کردن افراد خبره، مدت‌زمان تولید، بهینه‌سازی و آشنایی با سلیقه‌های مخاطبان چالش‌های دیگری برای شرکت‌های بازی‌ساز است. با توجه به جایگاه اول منطقه‌ای ایران در علوم کامپیوتر و وجود محتواهای فرهنگی منحصربه‌فرد از قبیل داستان، معماری و سابقه کهن در تولید این محتواها، این نتیجه به دست می‌آید که با سرمایه‌گذاری در **PCG** و بهره‌برداری از آن در صنعت بازی‌سازی می‌توان این چالش‌ها را کاهش و کفه ترازوی بازار رقابتی بازی‌های دیجیتال را به سمت تولیدات بومی سنگین‌تر کرد. برای تحقق این امر موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

- برگزاری نشست‌های مشترک میان سیاست‌گذاران صنعت بازی‌های رایانه‌ای با کارگروهی به نمایندگی محققین و فعالین این صنعت به‌منظور شناسایی توان موجود برای اولویت‌بندی تحقیق، آموزش و پیاده‌سازی علوم و فنون مشترک مابین صنعت بازی‌سازی و علوم ذکرشده در شکل ۳.

- ایجاد برنامه مدون جهت توسعه آموزش و تحقیقات در زمینه‌ی کاربردهای هوش مصنوعی و علوم کامپیوتر در بازی‌ها با توجه به اولویت‌های مشخص‌شده در نشست‌های مشترک. برای مثال می‌توان دروسی مانند شبکه‌های عصبی، الگوریتم‌های پیشرفته، ارزیابی کارایی، هوش مصنوعی در بازی‌های رایانه‌ای، پردازش تصویر و ریاضیات مخصوص بازی‌های رایانه‌ای که در **PCG** از آن‌ها استفاده زیادی می‌شود را به سرفصل رشته بازی‌های رایانه‌ای افزود.
- تحقیق بر روی نحوه همکاری صنعت و دانشگاه برای شناسایی و رفع چالش‌های موجود در استفاده از هوش مصنوعی و علوم کامپیوتر در بازی‌ها
- تعریف طرح‌های مشترک مابین دانشگاه و صنعت در زمینه‌ی کاربرد هوش مصنوعی و علوم کامپیوتر در بازی‌ها بر اساس اولویت‌های شناسایی‌شده و سرمایه‌گذاری بر روی آن‌ها.
- بهبود زیرساخت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری آزمایشگاه‌ها و تیم‌های بازی‌سازی در حوزه‌هایی نظیر رایانش فراگیر و رایانش ابری برای تسهیل تولید رویه‌ای محتوا
- شبکه‌سازی مابین آزمایشگاه‌های داده‌کاوی، رایانش فراگیر و بازی‌سازی کشور جهت استفاده از کاربردهای مشترک این علوم در تولید رویه‌ای محتوا. برای مثال با استفاده از روش‌های پردازش موازی می‌توان سرعت الگوریتم‌های استفاده‌شده در تولید رویه‌ای محتوا را چندین برابر کرد.
- افزایش همکاری و تحقیقات مشترک مابین رشته‌های علوم

کامپیوتر و هوش مصنوعی با دیگر رشته‌ها - مانند معماری، روانشناسی، موسیقی و ... به وسیله‌ی ایجاد گروه‌های تحقیقاتی مشترک، انتشار مجلات مطالعات میان‌رشته‌ای و برگزاری همایش‌ها - برای سهولت در فرآیند تولید محتوا و بهبود کیفیت آن. برای مثال با ایجاد مدل انتزاعی از معماری ایرانی توسط معماران، محققین هوش مصنوعی آسان‌تر و سریع‌تر می‌توانند مولدی باکیفیت را برای ایجاد ساختمان‌های دارای معماری ایرانی تولید کنند.

- تحقیقات برای شناسایی حوزه‌های مستعد خارج از بازی که از PCG برای حل یا کاهش مشکلاتشان می‌توان استفاده کرد. برای مثال یکی از حوزه‌های مستعد که می‌توان از PCG در آن استفاده کرد تولید داده دست‌ساز برای یادگیری شبکه عصبی است.
- تسهیل فرآیند ایجاد گروه‌های علمی و تحقیقاتی در زمینه‌ی کاربرد هوش مصنوعی و علوم کامپیوتر در بازی‌های برای ارائه مشورت به فعالین صنعت بازی‌سازی
- حمایت از ایجاد زیرساخت‌های آموزش به زبان فارسی در زمینه PCG برای آموزش فراگیر فعالین صنعت بازی‌های رایانه‌ای
- برگزاری اجلاس‌های معتبر در رابطه با PCG به منظور تشویق محققین برای ورود به این حوزه
- حمایت از تحقیقات و پایان‌نامه‌های مربوط به PCG

منابع



[1]Freiknecht, Jonas, and Wolfgang Effelsberg. «A survey on the procedural generation of virtual worlds.» *Multimodal Technologies and Interaction* 1, no. 27 :(2017) 4.

[2]Hendrikx, Mark, Sebastiaan Meijer, Joeri Van Der Velden, and Alexandru Iosup. «Procedural content generation for games: A survey.» *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)* 9, no. 1 :(2013) 1.

[3]JAMES RILEY S. This Is How Much «Grand Theft Auto 5» Cost To Make | Game Rant [Internet]. Gamerant.com. 2020 [cited 9 January 2020]. Available from: <https://gamerant.com/grand-theft-auto-5-development-cost/>

[4]Shaker, Noor, Julian Togelius, and Mark J. Nelson. *Procedural content generation in games*. Switzerland: Springer International Publishing, 2016.

۵] سید حسینی، محمد علی، پویان نژادی، حامد نصیری. ۱۳۹۶. نمای بازی ۱۳۹۶ (دسترسی= <https://direc.ircg.ir/?p=> شاخص ترین اطلاعات مصرف بازی های دیجیتال (در ۱۳۹۸/۱۰/۲۰). (سید حسینی ۱۳۹۷/۴/۱۰

[6]Kelly, George, and Hugh McCabe. «A survey of procedural techniques for city generation.» *The ITB Journal* 7, no. 5 :(2006) 2.

[7]De Kegel, Barbara, and Mads Haahr. «Procedural Puzzle Generation: A Survey.» *IEEE Transactions on Games* (2019).

- [8]Liu, Simon, Li Chaoran, Li Yue, Ma Heng, Hou Xiao, Shen Yiming, Wang Licong et al. «Automatic generation of tower defense levels using PCG.» In Proceedings of the 14th International Conference on the Foundations of Digital Games, pp. 2019.9-1.
- [9]Togelius, Julian, Georgios N. Yannakakis, Kenneth O. Stanley, and Cameron Browne. «Search-based procedural content generation: A taxonomy and survey.» IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games 3, no. 186-172 :(2011) 3.
- [10]Esfahlani, Shabnam Sadeghi, and Tommy Thompson. «Intelligent physiotherapy through procedural content generation.» In Twelfth Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference. 2016.
- [11]Pereira, Yago Henrique, Roger Ueda, Lucas Busatta Galhardi, and Jacques Dulio Brancher. «Using Procedural Content Generation for Storytelling in a Serious Game Called Orange Care.» In 18 2019th Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Entertainment (SBGames), pp. 197-192. IEEE, 2019.
- [12]Mendonça, Matheus RF, and Artur Ziviani. «Network-Based Procedural Story Generation.» Computers in Entertainment (CIE) 16, no. 18-1 :(2018) 3.
- [13]Barros, Gabriella AB, Antonios Liapis, and Julian Togelius. «Playing with data: Procedural generation of adventures from open data.» (2016).

[14]Belhadj, Farès. «Terrain modeling: a constrained fractal model.» In Proceedings of the 5th international conference on Computer graphics, virtual reality, visualisation and interaction in Africa, pp. 204-197. ACM, 2007.

[15]Johnson, Lawrence, Georgios N. Yannakakis, and Julian Togelius. «Cellular automata for real-time generation of infinite cave levels.» In Proceedings of the 2010 Workshop on Procedural Content Generation in Games, p. 10. ACM, 2010.

[16]Liapis, Antonios, Georgios N. Yannakakis, and Julian Togelius. «Sentient Sketchbook: Computer-aided game level authoring.» In FDG, pp. 2013 .220-213.

[17]Dahlskog, Steve, and Julian Togelius. «Procedural content generation using patterns as objectives.» In European Conference on the Applications of Evolutionary Computation, pp. 336-325. Springer, Berlin, Heidelberg, 2014.

[18]Dahlskog, Steve, and Julian Togelius. «A multi-level level generator.» In 2014 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games, pp. 8-1. IEEE, 2014.

[19]Baldwin, Alexander, Steve Dahlskog, Jose M. Font, and Johan Holmberg. «Mixed-initiative procedural generation of dungeons using game design patterns.» In 2017 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG), pp. 32-25. IEEE, 2017.

- [20]Baldwin, Alexander, Steve Dahlskog, Jose Font, and Johan Holmberg. «Towards pattern-based mixed-initiative dungeon generation.» In Proceedings of the 12th International Conference on the Foundations of Digital Games; 12. ACM, 2017.
- [21]Alvarez, Alberto, Steve Dahlskog, Jose Font, Johan Holmberg, and Simon Johansson. «Assessing aesthetic criteria in the evolutionary dungeon designer.» In Proceedings of the 13th International Conference on the Foundations of Digital Games, p. 44. ACM, 2018.
- [22]Moghadam, Arman Balali, and Marjan Kuchaki Rafsanjani. «A genetic approach in procedural content generation for platformer games level creation.» In 2 2017nd Conference on Swarm Intelligence and Evolutionary Computation (CSIEC), pp. 146-141. IEEE, 2017.
- [23]Lopes, Phil, Antonios Liapis, and Georgios N. Yannakakis. «Sonancia: Sonification of procedurally generated game levels.» In Proceedings of the 1st computational creativity and games workshop. 2015.
- [24]Lopes, Phil, Antonios Liapis, and Georgios N. Yannakakis. «Targeting horror via level and soundscape generation.» In Eleventh Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference. 2015.
- [25]Browne, Cameron, and Frederic Maire. «Evolutionary game design.» IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games 2, no. 16-1 :(2010) 1.

[26]Hastings, Erin J., Ratan K. Guha, and Kenneth O. Stanley. «Evolving content in the galactic arms race video game.» In 2009 IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games, pp. 248-241. IEEE, 2009.

[27]Volz, Vanessa, Jacob Schrum, Jialin Liu, Simon M. Lucas, Adam Smith, and Sebastian Risi. «Evolving mario levels in the latent space of a deep convolutional generative adversarial network.» In Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, pp. 228-221. ACM, 2018.

[۲۸] نجات، حمیدرضا. ۱۳۹۶. فرصت‌های شغلی و کسب درآمد در صنعت بازی‌های رایانه‌ای چگونه است؟.

پیوست



۱- تشریح فنون استفاده شده در PCG

همان طور که در فصل ۴ اشاره شد روش های مختلفی از علوم کامپیوتر، هوش مصنوعی و زبان شناسی نظری در PCG استفاده قرار می گیرند. زیرمجموعه های علوم کامپیوتر و زبان شناسی نظری بیشتر روش های پایه و ساده ای هستند که از آن ها در PCG استفاده های ساده ای می شود. زیرمجموعه های هوش مصنوعی بیشتر شامل روش های متنوع تر و پیچیده تری بوده و دارای چندین زیرشاخه هستند که احتمال می رود در آینده از آن ها استفاده شود. امروزه استفاده از روش های هوش مصنوعی در PCG بیشتر مورد اقبال واقع شده و از لحاظ اهمیت، وزن بیشتری نسبت به سایر روش ها پیدا کرده اند.

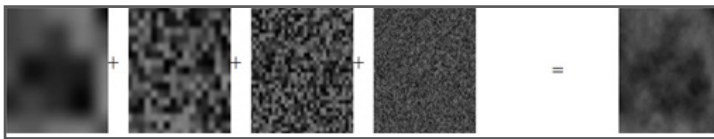
۱-۱- علوم کامپیوتر

رویکرد علمی و عملی به محاسبات و کاربردهای آن است و به زیربنای نظری، روش های طراحی و ساخت و چگونگی استفاده

از کامپیوتر می‌پردازد [۱]. در این بخش برخی از حوزه‌های علوم کامپیوتر که در PCG استفاده شده ارائه گردیده است.

۱-۱-۱- مولد اعداد شبه تصادفی (PRNG) ^۱

اشیاء موجود در طبیعت بسیار پیچیده‌اند و به نظر می‌رسد کوه‌ها، دره‌ها و ... با اشکال تصادفی ایجاد شده‌اند. برای ایجاد این اشکال می‌توان از اعداد تصادفی استفاده کرد. اختلال پرلین ^۲ اختلالی مبتنی بر PRNG است که برای کمک به طبیعی‌تر کردن بافت‌ها ایجاد شد [۲]. کن پرلین ^۳ در سال ۱۹۸۲ برای استفاده در فیلم ترون ^۴ این روش را ابداع کرد. برای ساخت بافت در این روش، ابتدا با استفاده از یک تابع تصادفی برای ایجاد مجموعه‌ای از مقادیر اختلال به نام اختلال منسجم ایجاد می‌شود. سپس چندین لایه از اختلال منسجم با استفاده از نسبت‌های مختلف ترکیب می‌شوند تا یک بافت شبیه به واقعیت ایجاد شود. در شکل ۱ نمونه‌ای از ترکیب لایه‌ها و در شکل ۲ زمین ایجاد شده به کمک اختلال پرلین نمایش داده شده‌اند [۳].



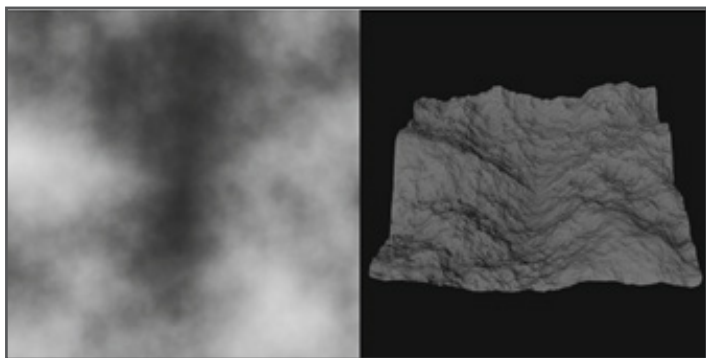
شکل ۱: ترکیب لایه‌های اختلال و ایجاد بافت [۳]

1. Pseudo-Random Number Generators (PRNGs)

2. Perlin

3. Ken Perlin

4. Tron



شکل ۲: زمین ایجاد شده به کمک اختلال پرلین [۴]

۱-۱-۲- فیلترینگ تصویر^۱

از فیلترینگ تصویر برای بهبود کیفیت یک تصویر با توجه به یک واحد اندازه گیری یا یک ویژگی ساختاری برای نمایش اطلاعات پنهان استفاده می شود. روش های مختلفی در پردازش تصاویر استفاده می شود که در ادامه برخی از آن ها بررسی شده اند [۲].

۱-۱-۲-۱- ریخت شناسی باینری^۲

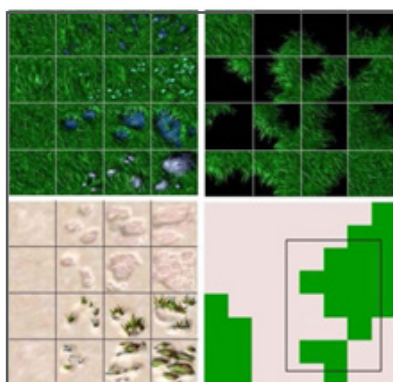
ریخت شناسی باینری مجموعه فنونی^۳ است که برای انجام عملیات باینری روی تصاویر استفاده می شود. در این عملیات برخی از پیکسل های یک تصویر به صفر و مابقی آن ها به یک تبدیل می شوند. به کمک ریخت شناسی باینری می توان لبه های یک شیء را در تصویر اصلی ترسیم کرد [۲]. در شکل ۳ نمونه از یافتن لبه های تصویر به کمک اعمال باینری نشان داده شده است.

-
1. Image filtering
 2. Binary morphology
 3. Techniques

این بخش تعدادی از این الگوریتم‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۲].

۱-۱-۳-۱- کاشی‌کاری^۱ و لایه‌بندی^۲

کاشی‌کاری یکی از ساده‌ترین روش‌های رویه‌ای است. این روش در بسیاری از بازی‌های کلاسیک از جمله سونیک^۳ و ماریو^۴ استفاده شده است. در کاشی‌کاری نقشه بازی مانند یک توری در نظر گرفته می‌شود. سپس بخش‌های کوچکی از گرافیک دوبعدی بر روی صفحه‌نمایش تکرار می‌شوند و با یکدیگر دنیای مجازی را ایجاد می‌کنند [۳]. لایه‌بندی روشی است که در آن چندین توری به نام لایه‌ها را در یک نقشه ادغام می‌شود. یک کاشی می‌تواند با همپوشانی چندلایه ایجاد شود. از این روش می‌توان جلوه‌هایی مانند آب را ایجاد نمود [۲]. نمونه‌ای از کاشی‌کاری در شکل ۴ نمایش داده شده‌اند.

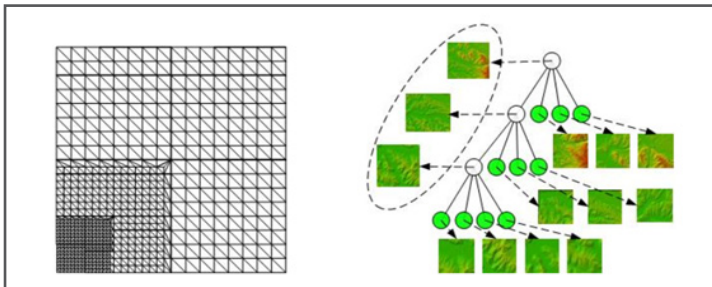


شکل ۴: استفاده از روش کاشی‌کاری برای ساخت زمین در بازی Warcraft® III [۳]

- 1.Tiling
2. Layering
- 3.Sonic
- 4.Mario

۱-۱-۳-۲- تقسیم شبکه^۱

تقسیم شبکه یک روش پویا و تکراری برای ایجاد اشیا است. ابتدا یک شیء با بافت مناسب به یک شبکه یکنواخت تقسیم می‌شود. سپس الگوریتم تقسیم شبکه برای اضافه کردن جزئیات، به صورت مکرر استفاده می‌شود. بخش پویای این روش مقدار تکرار الگوریتم را به نقطه دید مرتبط می‌کند فقط سلول‌های شبکه‌ای که به نقطه فعلی جزئیات نزدیک‌تر هستند باید در سلول‌های کوچک‌تر تقسیم شوند تا سطح موردنیاز جزئیات را ایجاد کنند [۲]. برای مثال شواکزین^۲ و همکاران در [۶] با استفاده از این روش زمینی را ایجاد کردند که در آن، سلول‌های نزدیک بازیکن دارای جزئیات بوده و سلول‌های دورتر جزئیات کمتری داشتند. مطابق شکل ۵ یک زمین برای بافت گذاری به ۴ قسمت تقسیم شده و قسمتی که بازیکن در آن قرار داری تا حدودی بافت گذاری شده و به ۴ قسمت تقسیم شده است. در انتها بخشی که بازیکن در آن قرار دارد بافت گذاری با جزئیات بیشتر می‌شود.



شکل ۵: طرح کلی برای بافت گذاری تصویر به صورت رویه‌ای [۶]

- 1.Grid Subdivision
- 2.Xuexian

۱-۱-۳-۳- برخال

اشکال طبیعی غالباً به بی‌نظمی و پیچیدگی غیرقابل مقایسه با هندسه منظم متمایل‌اند. اشکال طبیعی را به راحتی با روش‌های هندسی معمولی نمی‌توان توصیف کرد. برای مثال ابرها کروی نبوده و کوه‌ها مخروطی نیستند. باین حال این اشکال را می‌توان با استفاده از شاخه‌ای از ریاضیات به نام ریاضیات برخال توصیف کرد. مفهوم پایه برخال این است که آن‌ها دارای درجه بالایی از خود همانندی^۲ هستند. این بدان معنی است که آن‌ها معمولاً حاوی نسخه‌های کوچکی از خود در عمق وجودشان هستند. در شکل ۶ نمونه‌ای از ساختار برخال مانند نشان داده شده است [۳]. الگوریتم‌های تولید برخال به صورت بازگشتی بوده و با کمک آن‌ها می‌توان اشیاء با جزئیات به ظاهر نامتناهی را به صورت یک تابع بازگشتی ساده ذخیره کرد [۲].

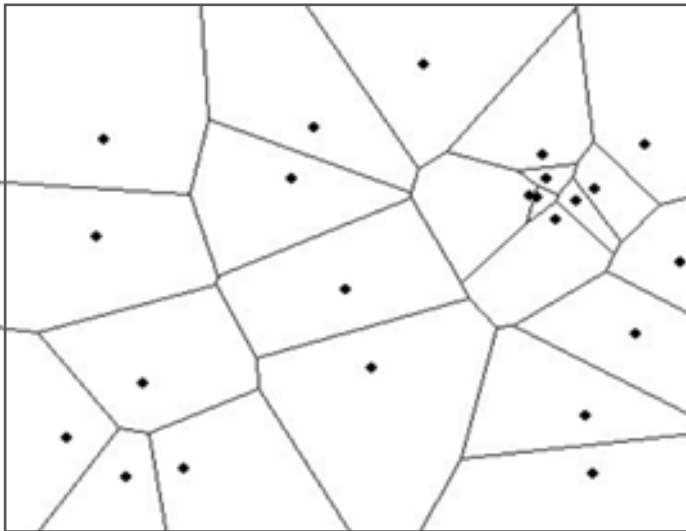


شکل ۶: تصویر ایجادشده به کمک برخال [۷]

1. Fractals
2. self similarity

۱-۱-۳-۴- نمودارهای ورونویی^۱

نمودارهای ورونویی فضای متریک را به بخش‌های مختلف تقسیم می‌کنند که اندازه و شکل این بخش‌ها به کمک نقاط دانه^۲ تعیین می‌شود [۲]؛ مانند شکل ۷ هر بخش حاوی یک دانه بوده و مرز این بخش‌ها عمود منصف پاره خط بین دانه‌های بخش‌ها است [۳]. از نمودار ورونویی طیف گسترده‌ای از برنامه‌های علمی از جمله تجزیه و تحلیل فضایی، برنامه‌ریزی، تجزیه و تحلیل تقسیم شهر، زمین‌شناسی، رباتیک و محیط زیست استفاده می‌شود. در شکل ۸ نمونه‌ای از بافت ایجاد شده به کمک نمودار ورونویی نمایش داده شده است [۸].



شکل ۷: نمودار ورونویی [۲]

1. Voronoi
2. Seed



شکل ۸: محیطی که جنس^۱ آن به کمک نمودار ورونویی ایجاد شده است [۹].

۱-۴-۱- الگوی برنامه‌نویسی

الگوهای برنامه‌نویسی راهی برای طبقه‌بندی زبان‌های برنامه‌نویسی بر اساس ویژگی‌های آن‌ها است. الگوهای برنامه‌نویسی اعلانی و دستوری از سایر الگوها رایج‌تر هستند. الگوهای برنامه‌نویسی قابلیت استفاده در PCG را دارند اما تاکنون تنها از برنامه‌نویسی مجموعه پاسخ در PCG استفاده شده که در ادامه تشریح شده است [۱۰].

۱-۴-۱-۱- برنامه‌نویسی مجموعه پاسخ^۱ (ASP)

ASP روشی برای برنامه‌نویسی منطق است که در آن محدودیت‌ها و

1. Answer set programming

روابط منطقی با استفاده از زبان‌هایی شبیه به زبان پرولوگ^۱ تعریف می‌شود [۱۱]. از ASP برای حل مسائل سخت استفاده می‌شود. از حل‌کننده‌های ASP می‌توان برای یافتن تنظیمات جهان استفاده کرد به گونه‌ای که محدودیت‌های بیان‌شده در این زبان را برآورده می‌کند. بسیاری از روش‌های تولید محتوا می‌توانند به کمک ASP تعریف شوند [۱۲]. به عنوان مثال، نقشه‌ها می‌توانند به عنوان موقعیت کلیه اشیاء موجود در نقشه نشان داده شده و فضای مجاز نقشه‌ها با محدودیت‌های بیان‌شده در زبان نشان داده شوند [۱۱]. بوئن^۲ و همکاران در [۱۳] از ASP برای تولید خودکار موسیقی استفاده کردند.

۱-۵-۱- مدل‌سازی و شبیه‌سازی سامانه‌های پیچیده

توصیف برخی از پدیده‌های طبیعی با معادلات ریاضی غیرممکن است. برای غلبه بر این مشکل می‌توان از مدل‌سازی و شبیه‌سازی استفاده نمود در این بخش برخی از روش‌های مدل‌سازی و شبیه‌سازی به صورت مختصر تشریح شده است.

۱-۵-۱-۱- ماشین خودکار سلولی^۳

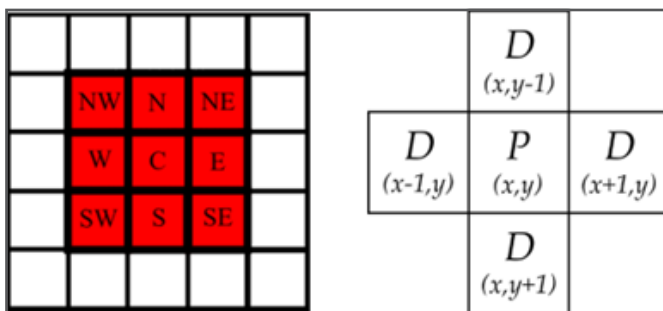
ماشین خودکار سلولی یک مدل محاسباتی گسسته بر اساس سلول‌های درون یک شبکه است. از ماشین خودکار سلولی در علوم مختلف مانند علوم کامپیوتر، فیزیک و برخی از شاخه‌های زیست‌شناسی استفاده می‌شود. در ماشین خودکار سلولی هر سلول یک حالت داشته و از

1.Prolog

2.Boenn

3.Cellular Automata

یک مجموعه قوانین مشترک استفاده می‌کند. وضعیت یک سلول در مرحله بعدی به وضعیت آن سلول و همسایه‌هایش در مرحله فعلی وابسته است. در شکل ۹ نمونه‌هایی از همسایگی ارائه شده است. ماشین خودکار سلولی را می‌توان با سامانه‌های دیگر نظیر L-System ترکیب کرد تا مدل‌های جدید محاسباتی را شکل دهند [۱۱].

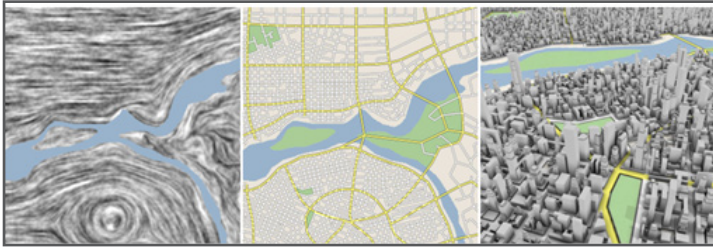


شکل ۹: همسایگی ۴ گانه در سمت راست و همسایگی ۸ گانه در سمت چپ [۱۱]

۱-۱-۵-۲- میدان تنسوری^۱

میدان‌های تنسوری بردارهای دوبعدی تعمیم‌یافته‌ای هستند که برای مشخص کردن شکل فضای بازی استفاده می‌شود. تنسور جهت ارتفاعات نقشه را مشخص می‌کند. از آنجاکه خطوط تنسور قابل مشاهده هستند، استفاده از آن‌ها برای طراحی تعاملی و دست‌کاری شبکه‌های جاده‌ای مناسب است [۲]. چن^۲ و همکاران در [۱۴] به کمک میدان تنسوری یک نقشه شهری را ایجاد کردند. در شکل ۱۰ برخی از مراحل کار آن‌ها ارائه شده است.

1.Tensor Fields
2.Chen



شکل ۱۰: سمت چپ کاربر یک میدان تنسوری را در محیط خشکی می‌کشد. وسط: با استفاده از میدان تنسوری شبکه جاده‌ها ایجاد می‌شود سمت راست: اشکال ۳ بعدی جایگذاری می‌شوند. [۱۴]

۱-۵-۳- شبیه‌سازی مبتنی بر عامل^۱

اساس شبیه‌سازی مبتنی بر عامل، شبیه‌سازی شرایط پیچیده به کمک نهادهایی به نام عامل^۲ است [۱۵]. عامل‌ها افراد موجود در یک جامعه با ویژگی‌های موردنظر را مدل‌سازی می‌کنند. سپس فاکتورهایی وارد سیستم شده و تأثیر آن‌ها در رفتارهای عامل‌ها یا رفتار سطح کلان جامعه بررسی می‌شود [۲]. تعداد عامل‌ها ممکن است در طول شبیه‌سازی تغییر کنند. همچنین عامل‌ها می‌توانند به‌صورت لحظه‌ای آموزش ببینند [۱۵].

۱-۵-۴- مدل دامنه^۳

دامنه مجموعه‌ای مرتبط از مفاهیم، روابط و گردش کار^۴ است. مدل دامنه بسته‌ای است که شامل نمودارهای کلاس و فعالیت است. مدل دامنه دانش را در یک دامنه خاص رمزگذاری می‌کنند. به‌عبارت‌دیگر مدل دامنه، سامانه‌ای انتزاعی است که جنبه‌های منتخب، تأثیرگذاری و

1.Agent-Based Simulation

2.Agent

3.Domain Model

4.workflow

فعالیت در حوزه دانش را توصیف می کند و از این مدل می توان برای حل مشکلات مربوط به دامنه، استفاده نمود [۱۶]. از مدل دامنه در تولید زبان های نظیر زبان توصیف عمل^۱ (ADL) استفاده می شود. این زبان ها عمل برنامه ریزی^۲ را در تولید محتوا آسان تر می نمایند [۱۱].

۱-۵-۵- سایر سامانه ها و تئوری های پیچیده

تئوری ها و سامانه های دیگری مانند تئوری های عمل نمایشی^۳ (برای تولید داستان)، روند شناختی^۴ (برای رفتار موجودیت) وجود دارند که ممکن است در تولید رویه ای محتوا بکار بروند. توجه به این تئوری ها و سامانه ها مفید بوده و می تواند به PCG کمک کند [۲].

۲-۱- هوش مصنوعی

هوش مصنوعی یکی از حوزه های بزرگ در علوم کامپیوتر است و از آن در PCG استفاده بسیاری می شود. در این بخش برخی از حوزه های هوش مصنوعی که در PCG استفاده شده، تشریح شده است.

۱-۲-۱- یادگیری ماشین

یادگیری ماشین شاخه ای متحول شده از الگوریتم های محاسباتی است که برای یادگیری از محیط اطراف طراحی شده است. روش های یادگیری ماشین در حوزه های مختلفی مانند شناسایی الگو، بینایی ماشین و داده کاوی استفاده می شوند. برخی از شاخه های یادگیری

1.Action Description Language
2.Planning
3.Dramatic Act
4.Cognitive Process

ماشین در PCG استفاده می‌شوند که در ادامه تشریح شده‌اند [۱۷].

۱-۲-۱- شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)^۱

شبکه‌های عصبی مصنوعی مدل‌های محاسباتی هستند که توانایی یادگیری رابطه بین ورودی و خروجی را به کمک حداقل کردن خطای بین خروجی و خروجی مورد انتظار، دارند. از ANN برای یافتن الگو، طبقه‌بندی و ساختار بندی داده‌ها استفاده می‌شود. ANN از واحدهای محاسباتی به نام نورون^۲ که با یال‌های وزن‌دار به هم متصل‌اند، تشکیل شده است. یک نورون می‌تواند چندین یال ورودی و خروجی داشته باشد. نورون تمامی اطلاعات دریافتی از یال ورودی را باهم ترکیب کرده و هنگام راه‌اندازی^۳ آن را به یال‌های خروجی ارسال می‌کند. توابع ANN محیطی هستند که سیگنال‌های ورودی را فراهم کرده، سیگنال‌های خروجی را پردازش و خطایی را که ANN برای تنظیم وزن در یال‌ها و یادگیری از آن‌ها استفاده می‌کند را محاسبه کند [۲]. از دو مدل ANN در PCG استفاده می‌شود. این دو مدل در ادامه ارائه شده‌اند.

۱-۲-۱-۱- شبکه‌های مولد الگوی مرکب (CPPNs)^۴

CPPNs نوع دیگری از ANN هستند با این تفاوت که می‌توانند توابع فعال‌سازی متفاوتی داشته باشند. توابع فعال‌سازی می‌توانند به صورت تناوبی، گوسی و با خطی باشند. از CPPNs بیشتر

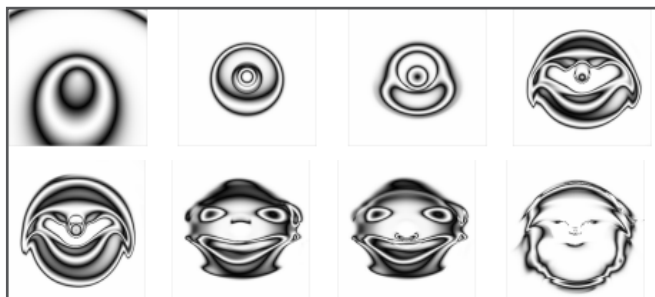
1. Artificial Neural Networks

2. Neuron

3. Trigger

4. Compositional pattern-producing networks

برای تولید الگو استفاده می‌شود. در CPPNs می‌توان از طیف وسیعی از ورودی‌ها استفاده نمود. با توجه به ترکیبی بودن توابع CPPNs، نمونه‌برداری از هر وضوحی^۱ قابل قبول است [۱۱]. یک نمونه از کاربرد CPPNs در سایت پیکریدر^۲ است که در آن تصاویر به صورت خودکار تولید می‌شوند. برای مثال در شکل ۱۱ با کمک یک تصویر ساده، تصویری مشابه صورت انسان ایجاد شده است.



شکل ۱۱: تصویر ایجادشده به کمک CPPNs. مراحل از تصویر بالا در سمت چپ شروع شده و به تصویر پایین در سمت راست ختم شده است [۱۸].

۱-۲-۱-۱-۲- تکامل، عصی، توپولوژی‌های افزوده (NEAT)^۱

روشی است که در آن از الگوریتم ژنتیک برای تکامل شبکه‌های عصبی استفاده می‌شود. در NEAT مرحله‌ی ابتدایی با تعدادی جمعیت ساده یا CPPNs که هیچ گره‌ی پنهانی ندارد، شروع شده و طی نسل‌های مختلف ارتباطات و گره‌های مختلف به کمک جهش‌ها در آن ایجاد می‌شود. در NEAT لازم نیست تا کاربر تعداد نوروها و نحوه‌ی ارتباط آن‌ها با یکدیگر را تعیین کند. NEAT توپولوژی

1. Resolution
2. www.picbreeder.org
3. Neuroevolution of augmenting topologies

شبکه را به‌طور خودکار تعیین می‌کند و هم‌زمان با پیشرفت تکامل، شبکه‌های پیچیده‌تری را ایجاد می‌کند. با توجه به سرعت بالای NEAT می‌توان از آن در بازی‌های که با کاربر تعامل دارند استفاده کرد [۱۱]. هستینگز^۱ و همکاران در [۱۹] برای تولید اسلحه فضایی با توجه به انتخاب‌های کاربر از NEAT استفاده کرده‌اند.

۱-۲-۱- داده کاوی

به فرآیند نیمه خودکار تجزیه و تحلیل پایگاه داده‌ها برای یافتن اطلاعات مفید و نیمه پنهان مانند الگوی مابین داده‌ها، داده کاوی می‌گویند. داده کاوی معمولاً بر روی داده‌های بزرگ انجام می‌شود اما انجام آن روی داده‌های کوچک نیز پرکاربرد است. مطالعات داده کاوی می‌تواند به‌صورت طبقه‌بندی، تخمین، پیش‌بینی، خوشه‌بندی، تحلیل سبد خرید، قواعد هم باشی و دنباله کاوی باشد [۲۰]. از داده کاوی برای مدل کردن تجربه بازیکن استفاده شده و با استفاده از آن می‌توان PCG را مبتنی بر تجربه بازیکن انجام داد [۱۱]. یاناکاکیس^۲ و همکاران در [۲۱] به کمک داده کاوی روشی را برای مدل کردن تجربه بازیکن ارائه دادند.

۱-۲-۳- یادگیری عمیق

یادگیری عمیق شاخه‌ای از یادگیری ماشین است که در آن از لایه‌های مختلفی برای استخراج تدریجی ویژگی‌های سطح بالا از

1.Hastings
2.Yannakakis

ورودی‌های خام استفاده می‌شود. در این روش مفاهیم به مفاهیم ساده تقسیم شده تا مفاهیم پایه به دست آید. با دسترسی به مفاهیم پایه ماشین توانایی تصمیم‌گیری داشته و به نظارت انسان نیازی ندارد [۲۲]. از یادگیری عمیق در مدل‌سازی تجربه بازیکن و PCG استفاده می‌شود [۲۱]. برای مثال لیانگ^۱ و همکاران در [۲۳] از یادگیری عمیق برای ایجاد محتوای بازی استفاده کرده‌اند.

۱-۲-۴- یادگیری تقویتی

شاخه‌ای از یادگیری ماشین است که بر رفتار یک عامل در یک محیط برای به دست آوردن حداکثر مجموعه پاداش متمرکز است. در این یادگیری عامل با استفاده از آزمون و خطا و بازخورد اعمال خود یادگیری را انجام می‌دهد. در این مدل یادگیری عامل برای هر عمل پاداشی را دریافت می‌کند و هدف خود را دریافت حداکثر پاداش در درازمدت در نظر می‌گیرد. تفاوت یادگیری تقویتی با روش‌های دیگر یادگیری ماشین، این است که خود عامل باید به کمک معیارهایی یاد بگیرد که بهترین عمل در هر وضعیت کدام است [۲۳]. از یادگیری تقویتی در PCG نیز استفاده می‌شود [۲۱]. جاستسن^۲ و همکاران در [۲۵] به کمک یادگیری تقویتی روشی را برای ایجاد مراحل بازی به‌صورت رویه‌ای ارائه دادند.

۱-۲-۲- الگوریتم‌های فرگشتی^۱

یک الگوریتم فرگشتی یک الگوریتم جستجوی تصادفی است که از فرگشت داروین الهام گرفته شده است. الگوریتم‌های فرگشتی از سازوکارها و عملیات ابتدایی برای حل مسئله استفاده می‌کنند و در طی یک سری از تکرارها به راه‌حل مناسب برای مسئله می‌رسند. این الگوریتم‌ها غالباً از یک جمعیت حاوی راه‌حل‌های تصادفی شروع می‌کنند و در هر مرحله تکرار سعی در بهتر کردن مجموعه راه‌حل‌ها دارند. در آغاز کار تعدادی از اعضای جامعه به‌صورت تصادفی ایجاد شده، سپس تابع هدف برای هر یک از این اعضا محاسبه و نخستین نسل ایجاد خواهد شد. اگر هیچ‌یک از معیارهای خاتمه بهینه‌سازی دیده نشوند، ایجاد نسل جدید آغاز خواهد شد. اعضا برحسب میزان شایستگی‌شان برای تولید فرزندان انتخاب می‌شوند. این افراد به‌عنوان والدین محسوب می‌شوند و باز ترکیب نوزادها را تولید می‌نمایند. سپس تمامی نوزادها با یک مقدار معینی از احتمال، یعنی همان جهش، تغییر ژنتیکی می‌یابند. اکنون میزان شایستگی (برازندگی) نوزادان تعیین و در اجتماع جایگزین والدین شده و نسل جدید را ایجاد می‌نمایند. این چرخه آن‌قدر تکرار می‌شود تا یکی از معیارهای پایان بهینه‌سازی کسب شود. الگوریتم‌های فرگشتی عبارت‌اند از الگوریتم ژنتیک، الگوریتم کلونی زنبور عسل، روش بهینه‌سازی گروه مورچه‌ها، راهبرد فرگشتی و الگوریتم رقابت استعماری [۲۶]. در میان الگوریتم‌های فرگشتی از الگوریتم ژنتیک در

1. Evolutionary Algorithm

PCG بیشتر استفاده می‌شود. در ادامه الگوریتم ژنتیک تشریح می‌شود.

۱-۲-۲-۱- الگوریتم ژنتیک

از الگوریتم ژنتیک برای حل مشکلات بهینه‌سازی با تقلید از تکامل بیولوژیکی استفاده می‌شود. در این روش، راه‌حل‌ها روی رشته‌ای کدگذاری می‌شوند و به کمک تابع ارزیابی کیفیت راه‌حل‌ها سنجیده می‌شود. در الگوریتم ژنتیک ابتدا جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی ایجاد می‌شود. سپس با استفاده از عمل کراس‌اوور^۱ تعدادی از راه‌حل‌ها باهم ترکیب شده و جمعیت ترکیب‌شده‌ها را ایجاد می‌شود. در ادامه به کمک عمل جهش برخی از راه‌حل‌های اولیه تغییر پیدا کرده و جمعیت جهش‌یافته‌ها ایجاد می‌شود. از این سه جمعیت به تعداد جمعیت اولیه راه‌حل‌های با امتیاز ارزیابی بیشتر انتخاب خواهند شد تا جایگزین جمعیت اولیه شوند. در ادامه این عمل به تعداد مشخصی تکرار خواهد شد و در نهایت راه‌حل با بالاترین امتیاز انتخاب می‌شود [۲]. بالدوین^۲ و همکاران در [۲۷] با استفاده از الگوریتم ژنتیک سیاه‌چاله‌ای را ایجاد کردند.

۱-۲-۲-۲- فرگشت تعاملی^۳

محاسبات فرگشتی تعاملی یک نوع محاسبات فرگشتی است که در آن از ورودی‌های انسانی برای ارزیابی محتوا استفاده می‌شود. همان‌طور که فرگشت مصنوعی متکی بر بقای مطلوب است، در

-
1. CrossOver
 2. Baldwin
 3. Interactive Evolution

فرگشت تعاملی یک کاربر انسانی اساساً انتخاب می‌کند که کدام افراد تولیدمثل می‌کنند و کدام افراد می‌میرند. فرگشت تعاملی به انسان اجازه می‌دهد نهادها را بر اساس تمایلات ذهنی خود بررسی کند و کامپیوتر جهان بهینه‌ای که انسان در فضای ویژگی معین نموده را جستجو می‌کند. در فرگشت تعاملی یک کاربر انسانی، با ارائه اشیاء به ترتیب اولویت، یا با انتخاب یک یا چند شیء که تمایل بیشتری برای دیدن آن‌ها دارد؛ ارزش عددی شیء را تعیین کند. تکامل تعاملی اغلب در زمینه‌هایی استفاده می‌شود که طراحی یک تابع برآزش کار دشواری است؛ به‌عنوان مثال، معیار انتخاب می‌تواند یک اندازه ذهنی از زیبایی باشد [۱۱]. کاردامون^۱ و همکاران در [۲۸] روشی را ارائه دادند که در آن به کمک فرگشت تعاملی مسیر مسابقه را برای بازی اتومبیلرانی ایجاد می‌شود.

۱-۲-۳- ارضای قیود^۲ و برنامه‌ریزی^۳

ارضای قیود و برنامه‌ریزی مستلزم پیدا کردن مسیری از حالت اولیه به وضعیت نهایی با به‌کارگیری برخی از اقدامات است [۲]. در هوش مصنوعی منظور از ارضای قیود، فرآیند پیدا کردن راه‌حل با توجه به محدودیت‌های اعمال‌شده به مسئله است [۲۹]. یک مسئله برنامه‌ریزی به تعیین استراتژی‌ها و سلسله اعمال مربوط می‌شود و شامل یک حالت اولیه، برخی از اعمال و یک آزمون هدف است. در برنامه‌ریزی از عوامل هوشمند مانند ربات‌ها و ماشین‌های خودکار

1.Cardamone

2.Constraint Satisfaction

3.Planning

استفاده می‌شود. زبان برنامه‌ریزی تعریف دامنه^۱ (PDDL) معمولاً برای بیان مشکلات برنامه‌ریزی بکار می‌رود. یک عمل می‌تواند در صورت برآورده شدن شرایط اولیه انجام شود. اجرای یک عمل می‌تواند باعث اضافه یا حذف شدن متغیرها و ایجاد وضعیت جدید باشد [۲].

۳-۱- زبان‌شناسی نظری^۲

زبان‌شناسی نظری شاخه‌ای از زبان‌شناسی است که به ماهیت زبان می‌پردازد و می‌کوشد به سؤالات اساسی مانند اینکه زبان چیست و چرا زبان‌ها ویژگی‌های خود را دارند، پاسخ دهد [۳۰]. دستور زبان‌های زایشی که بخشی از زبان‌شناسی نظری هستند، در PCG مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ادامه این دستور زبان‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

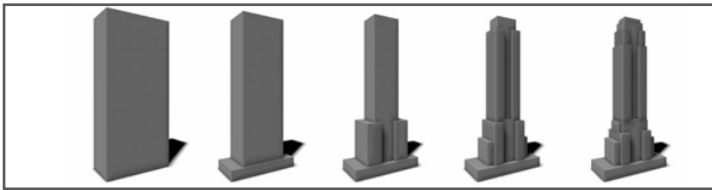
۱-۳-۱- دستور زبان‌های زایشی^۳

دستور زبان‌های زایشی از مطالعات نوام چامسکی^۴ در دهه ۶۰ میلادی الهام گرفته شده‌اند. در این دستور زبان‌ها با کمک مجموعه از قوانین که عملیاتی را بر روی حروف جداگانه ایجاد می‌کنند، می‌توان جمله‌ای صحیح بر اساس قواعد دستور زبان ایجاد کرد [۲]. انواع مختلفی از دستور زبان‌های زایشی وجود دارند که در ادامه برخی از آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند.

1.Planning Domain Definition Language
2.Theoretical linguistics
3. Generative grammar
4.Noam Chomsky

۱-۳-۱-۱- سامانه‌های لیندنمایر^۱

سامانه‌ی لیندنمایر یا L-System یک دستور زبان قراردادی است که به‌عنوان یک نظریه ریاضی توسط آرتیستید لیندنمایر^۲ ساخته شده است. مفهوم کلی این سامانه بر اساس بازنویسی^۳ است. به‌طور کلی، بازنویسی یک روش برای تعریف اشیاء پیچیده با جایگزینی بخش‌هایی از یک شیء اولیه ساده به کمک مجموعه‌ای از قوانین بازنویسی است [۳]. L-System شامل یک دستور زبان تشکیل‌شده از نمادهایی است که ساختارهای یک شیء را توصیف می‌کنند [۲]. در شکل ۳ نمونه‌ای از ساختمان ایجادشده به کمک L-System نمایش داده شده است.



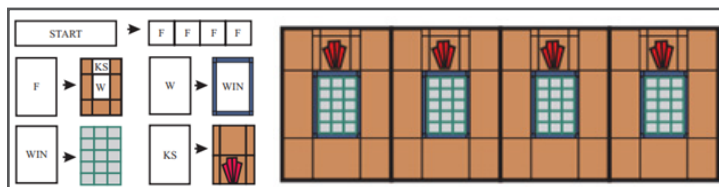
شکل ۳: ساختمان ایجادشده به کمک L-System [2]

۱-۳-۱-۲- دستور زبان‌های جداکننده^۴

این نوع دستور زبان به L-System شباهت دارد اما بیشتر بر پایه اشکال است تا حروف یا نماد. دستور زبان‌های جداکننده شکلی را به کمک برخی اشکال پایه و قواعد بازنویسی تبدیل شکل به شکل، ایجاد می‌کنند [۲]. به‌عنوان مثال، با استفاده از یک دستور زبان جداکننده، یک دیوار را می‌توان به دو شکل کوچک‌تر تقسیم کرد که به‌نوبه خود می‌توانند به‌صورت قاب پنجره و شکل پنجره بازنویسی شوند [۳۱].

1.Lindenmayer system
2. Aristid Lindenmayer
3.Rewriting
4.Split Grammars

در شکل ۴ نمونه‌ای از دستور زبان‌های جداکننده نمایش داده شده‌اند.



شکل ۴: نمونه‌ای از دستور زبان جداکننده در سمت چپ و نتیجه این دستور زبان در سمت راست نمایش داده شده است [۳۱].

۲-۳- دستور زبان‌های دیواری^۲

از دستور زبان‌های دیوار برای ایجاد ظاهر خارجی ساختمان‌ها استفاده می‌شود. این دستور زبان‌ها مانند دستور زبان‌های جداکننده عمل می‌کنند ولی توانایی ایجاد اشیا پیشرفته‌تری را نسبت آن‌ها دارند. برای مثال به کمک این دستور زبان‌ها می‌توان بالکن و راه‌پله اضطراری ایجاد نمود [۲]. در شکل ۵ نمونه‌ای از نمای جلویی ساختمان که به کمک دستور زبان دیواری ساخته شده نمایش داده شده است.

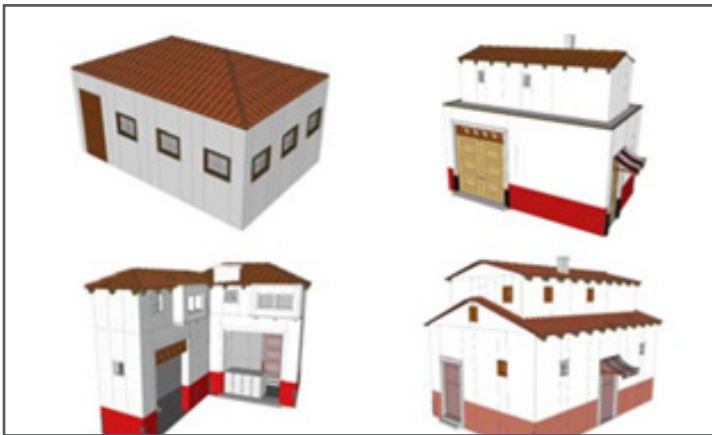


شکل ۵: نمای جلویی ساختمان که به کمک دستور زبان دیواری ایجاد شده است [۳۲].

1. Wall grammars

۲-۴- دستور زبان‌های شکل^۱

دستور زبان‌های شکل دستور زبان‌هایی متوالی و حساس به متن هستند. در هر مرحله بازنویسی، نماد و همسایگان آن، تعیین می‌کنند که کدام نماد جایگزین نماد اصلی شود. روند بازنویسی این دستور زبان با L-System یا دستور زبان جداکننده متفاوت است. گرامرهای شکل مانند گرامرهای دیواری می‌توانند ساختارهای پیچیده‌تری را ایجاد کنند [۲]. در شکل ۶ ساختمان‌های ایجادشده با دستور زبان شکل نمایش داده شده‌اند.



شکل ۶: ساختمان‌های ایجادشده با استفاده از دستور زبان شکل [۳۳]

1.Shape grammars

منابع

- [1]College of Saint Benedict & Saint John's University. (2020). Curriculum. [online] Available at: <https://www.csbsju.edu/computer-science-department/curriculum> [Accessed 17 Feb. 2020].
- [2]Hendrikx, Mark, Sebastiaan Meijer, Joeri Van Der Velden, and Alexandru Iosup. «Online Appendix to: Procedural content generation for games: A survey.» ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM) 9, no. 1 :(2013) 1.
- [3] Kelly, George, and Hugh McCabe. «A survey of procedural techniques for city generation.» The ITB Journal 7, no. 5 :(2006) 2.
- [4]van Eck, Wim, and Maarten H. Lamers. «Biological content generation: evolving game terrains through living organisms.» In International Conference on Evolutionary and Biologically Inspired Music and Art, pp. 235-224. Springer, Cham, 2015.
- [5]Albregtsen, F. (2017). "morphology on binary images." Lecture, University of Oslo, Oslo, May, 10, 2017.
- [6]Pi, Xuexian, Junqiang Song, Liang Zeng, and Sikun Li. «Procedural terrain detail based on patch-lod algorithm.» In International Conference on Technologies for E-Learning and Digital Entertainment, pp. 920-913. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006.
- [7]Ench, Cory . "Pure Fractal Flame." Digital image. Enchgallery.

2008. Accessed Feb 2020 ,18 .<http://www.enchgallery.com/fractals/fractalpages/multiband.htm>
- [8]«Voronoi Diagram». 2020. En.Wikipedia.Org. https://en.wikipedia.org/wiki/Voronoi_diagram.
- [9]Ebert, David S., F. Kenton Musgrave, Darwyn Peachey, Ken Perlin, and Steven Worley. Texturing & modeling: a procedural approach. Morgan Kaufmann, 2003.
- [10]«Programming Paradigm». 2020. En.Wikipedia.Org. https://en.wikipedia.org/wiki/Programming_paradigm.
- [11]Shaker, Noor, Julian Togelius, and Mark J. Nelson. Procedural content generation in games. Switzerland: Springer International Publishing, 2016.
- [12]«Answer Set Programming». 2020. En.Wikipedia.Org. https://en.wikipedia.org/wiki/Answer_set_programming.
- [13]Boenn, Georg, Martin Brain, Marina De Vos, and John Ffitch. «Automatic music composition using answer set programming.» Theory and practice of logic programming 11, no. 427-397 :(2011) 3-2.
- [14]Chen, Guoning, Gregory Esch, Peter Wonka, Pascal Müller, and Eugene Zhang. «Interactive procedural street modeling.» In ACM SIGGRAPH 2008 papers, pp. 2008 .10-1.
- [15]«Agent-Based Model». 2020. En.Wikipedia.Org. https://en.wikipedia.org/wiki/Agent-based_model.

- [16]«Domain Model». 2020. En.Wikipedia.Org. https://en.wikipedia.org/wiki/Domain_model.
- [17]«Machine Learning». 2020. En.Wikipedia.Org. https://en.wikipedia.org/wiki/Machine_learning.
- [18]Secretan, Jimmy, Nicholas Beato, David B. D'Ambrosio, Adelein Rodriguez, Adam Campbell, Jeremiah T. Folsom-Kovarik, and Kenneth O. Stanley.«Picbreeder:Acasestudyin collaborative evolutionary exploration of design space.» Evolutionary computation 19, no. 403-373 :(2011) 3.
- [19]Hastings, Erin J., Ratan K. Guha, and Kenneth O. Stanley. «Evolving content in the galactic arms race video game.» In 2009 IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games, pp. 248-241. IEEE, 2009.
- [20]«Data Mining». 2020. En.Wikipedia.Org. https://en.wikipedia.org/wiki/Data_mining.
- [21]Martínez, Héctor P, and Georgios N. Yannakakis. «Mining multimodal sequential patterns: a case study on affect detection.» In Proceedings of the 13th international conference on multimodal interfaces, pp. 2011 .10-3.
- [22]«Deep Learning». 2020. En.Wikipedia.Org. https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_learning.
- [23]Liang, Yubin, Wanxiang Li, and Kokolo Ikeda. «Procedural Content Generation of Rhythm Games Using Deep Learning Methods.» In Joint International Conference on Entertainment Computing and Serious

Games, pp. 145-134. Springer, Cham, 2019.

[24]«Reinforcement Learning». 2020. En.Wikipedia.Org. https://en.wikipedia.org/wiki/Reinforcement_learning.

[25]Justesen, Niels, Ruben Rodriguez Torrado, Philip Bontrager, Ahmed Khalifa, Julian Togelius, and Sebastian Risi. «Illuminating generalization in deep reinforcement learning through procedural level generation.» arXiv preprint arXiv:2018) 1806.10729).

[26]«Evolutionary Algorithm». 2020. En.Wikipedia.Org. https://en.wikipedia.org/wiki/Evolutionary_algorithm.

[27]Baldwin, Alexander, Steve Dahlskog, Jose M. Font, and Johan Holmberg. «Mixed-initiative procedural generation of dungeons using game design patterns.» In 2017 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG), pp. 32-25. IEEE, 2017.

[28]Cardamone, Luigi, Daniele Loiacono, and Pier Luca Lanzi. «Interactive evolution for the procedural generation of tracks in a high-end racing game.» In Proceedings of the 13th annual conference on Genetic and evolutionary computation, pp. 2011 .402-395.

[29]«Constraint Satisfaction». 2020. En.Wikipedia.Org. https://en.wikipedia.org/wiki/Constraint_satisfaction.

[30]«Theoretical Linguistics». 2020. En.Wikipedia.Org. https://en.wikipedia.org/wiki/Theoretical_linguistics.

[31]Wonka, Peter, Michael Wimmer, François Sillion, and William Ribarsky. «Instant architecture.» ACM Transactions on Graphics (TOG) 22, no. 677-669 :(2003) 3.

[32] Larive, Mathieu, and Veronique Gaildrat. «Wall grammar for building generation.» In Proceedings of the 4th international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and Southeast Asia, pp. 2006 .437-429.

[33]Müller, Pascal, Peter Wonka, Simon Haegler, Andreas Ulmer, and Luc Van Gool. «Procedural modeling of buildings.» In ACM SIGGRAPH 2006 Papers, pp. 2006 .623-614.



مرکز ملی فضایی مجازی
پروژه شبکه فضایی مجازی

csri.majazi.ir