علوم رایانش و فناوری اطلاعات
نشریه علمی انجمن کامپیوتر ایران
مجلد ۱۹، شماره ۱، ۱۴۰۰
صفحات ۱۰۱- ۱۱۳
مقاله عادی

مطالعه‌ی موردی بازی تحت ابر با رویکرد ارزیابی کارایی

فاطمه صفاری، رضا انتظاری ملکی*

*نویسنده مسئول، دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۵، بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۱۹، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۲

دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

چکیده

بازی تحت ابر، روشی جدید برای عرضه‌ی بازی‌های رایانه‌ای به کاربران است. در این روش، بازی‌های پیچیده بر روی یک سرور ابری قوی اجرا شده و سپس صحنه‌های بازی از طریق اینترنت به کاربران فرستاده می‌شوند. ازآنجایی‌که تمام محاسبات بر روی سرور ابری اجرا می‌شود، کاربران با سخت‌افزار محدود نیز می‌توانند این بازی‌ها را انجام دهند. وقایع کنترلی دستگاه‌های کاربران، به سرور ابری بازگردانده می‌شوند و کاربران دائماً با سرور ابری در تعامل هستند. کیفیت سرویس به توصیف میزان کیفیت خدمات ارائه‌شده گفته می‌شود و زمان پاسخ، به‌عنوان یکی از معیارهای مهم کارایی، از جمله پارامترهایی است که در کیفیت سرویس ارائه شده توسط بازی تحت ابر تأثیرگذار می‌باشد. در این پژوهش به مطالعه‌ی موردی بازی تحت ابر با رویکرد ارزیابی کارایی از طریق اندازه‌گیری زمان پاسخ پرداخته شده است. در این راستا ابتدا یک بازی رایانه‌ای پیاده‌سازی شده و سپس یک بستر بازی تحت ابر فراهم شده است. پس از آن، بازی به اجرا درآمده و زمان پاسخ بر مبنای تغییر در پنج مؤلفه‌ی کیفیت نمایش صحنه، مقدار حداکثر پهنای باند، تعداد فریم‌ها در هر ثانیه، تعداد کاربران متصل به‌صورت هم‌زمان و نوع سرویس‌گیرنده‌های آن‌ها اندازه‌گیری شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که افزایش کیفیت نمایش صحنه و افزایش تعداد فریم‌ها در هر ثانیه، منجر به کاهش کارایی؛ و افزایش پهنای باند، موجب افزایش کارایی می‌شود. همچنین موبایل نسبت به لپ‌تاپ و تبلت از کارایی بالاتری برخوردار است. از طرفی، بستر بازی تحت ابر فراهم شده برای ارائه‌ی محتوای با سطح گرافیک بالا می‌تواند تنها به پنج کاربر به طور هم‌زمان خدمت‌رسانی کند.

کلمات کلیدی: بازی رایانه‌ای، بازی تحت ابر، کارایی، زمان پاسخ

۱- مقدمه

بازی، تفریحی جهانی و ساختاری تعاملی است که به‌طورکلی شامل هر نوع فعالیتی است که در قالب یک مسابقه یا رقابت برای سرگرمی انجام می‌شود. بازی رایانه‌ای، یک نرم‌افزار بی‌درنگ[۱] تعاملی است [۱].

تعاملات بین بازیکن و بازی رایانه‌ای را می‌توان در دو بخش و سه مؤلفه خلاصه کرد. بخش اول متعلق به بازی و بخش دوم متعلق به بازیکن است. در بخش بازی، مؤلفه‌ی سیستم و محتوای بازی قرار دارد. محتوای بازی شامل تمامی اجزای فضای بازی است و زمان و مکان عملیات را تعریف می‌کند. سیستم بازی نیز رویه‌ی هر عملیات را مشخص و روی فضای بازی اعمال می‌کند. در بخش بازیکن مؤلفه‌ی تجربه و مکانیک بازی[۲] قرار دارد. مکانیک بازی به قوانین بازی و نحوه‌ی تعامل بازیکن با بازی اشاره دارد؛ و اینکه بازیکن چه اقداماتی را می‌تواند انجام دهد و بازی در قبال این اقدامات چه واکنشی می‌دهد. مؤلفه‌ی آخر نیز بین دو بخش قرار دارد و رابطی است که اطلاعات و دستورات را بین دستگاه و بازیکن انتقال می‌دهد [۲].

بازی‌های آنلاین بازی‌هایی هستند که تحت یک شبکه، اغلب اینترنت، انجام می‌شوند. بازی‌های آنلاین شامل طیفی گسترده از بازی‌ها می‌شوند؛ اعم از بازی‌های ساده‌ی مبتنی بر متن تا بازی‌هایی با گرافیک پیچیده که تعداد زیادی بازیکن به طور هم‌زمان به آن متصل هستند. بازی‌های آنلاین مستقل از بستر انتشار[۳] نیستند [۳]. برای اجرای بازی‌های با گرافیک پیچیده و تعداد بازیکن بالا، به سخت‌افزار قوی و اینترنت پرسرعت نیاز است. در غیر این‌صورت برای بازیکن تجربه‌ی خوبی از بازی به دست نمی‌آید. تأمین سخت‌افزار قوی نیز هزینه‌ی بالایی را می‌طلبد. از دیگر مشکلات بازی‌های آنلاین این است که توسعه‌دهندگان برای جذب تعدادِ کاربر بیشتر، مجبور به توسعه‌ی بازی بر روی بسترهای مختلف هستند؛ این مسئله موجب افزایش هزینه‌ی توسعه می‌شود.

در جهت رفع این مشکلات و جذب تعداد بیشتر کاربران، از بازی تحت ابر[۴] استفاده می‌شود. در بازی تحت ابر، بازی‌های دارای پیچیدگی محاسباتی، به صورت از راه دور[۵] [۴]، در سرورهای ابری قدرتمند اجرا می‌شوند و صحنه‌های بازی، از طریق اینترنت برای کاربران پخش می‌شود [۵]. بنابراین سرویس‌گیرنده‌ها دیگر به سخت‌افزارهای قوی برای اجرای بازی‌ها نیاز نخواهند داشت و در هزینه صرفه‌جویی زیادی می‌شود. توسعه‌دهندگان نیز می‌توانند فقط بر روی یک بستر جهت توسعه‌ی بازی تمرکز کنند و هزینه‌های تیم توسعه نیز کاهش می‌یابد. از دیگر مزایای این روش این است که دیگر کدهای بازی بر روی سرویس‌گیرنده‌ها بارگیری نمی‌شود.

علیرغم مزایای فراوان بازی تحت ابر، چالش‌های اساسی در استفاده از آن وجود دارد. از جمله اینکه بسترهای بازی تحت ابر باید دارای ارزیابی خدمات باشند. ارزیابی‌ها شامل اندازه‌گیری معیارهای کیفیت سرویس[۶] و کیفیت تجربه[۷] می‌شوند [۵]. کیفیت سرویس به توانایی شبکه برای دستیابی به پهنای‌باند حداکثری و مدیریت سایر عناصر شبکه مانند تأخیر انتقال بسته[۸]، میزان خطا و غیره اشاره دارد. یکی از اهداف مهم بهبود کیفیت سرویس این است که یک سطح حداقلی از کارایی[۹] را تضمین کند [۶]. کیفیت تجربه نیز به تجربه‌ی درک شده‌ی بازیکن از بازی و اینکه بازیکن از بازی چه می‌خواهد اشاره دارد [۲].

طراحی بستر بازی تحت ابر به‌تنهایی کاری دشوار است، حال‌آنکه ارزیابی‌ها و تأمین معیارهای کیفیت سرویس و کیفیت تجربه آن را دشوارتر نیز می‌کند؛ زیرا این دو گاهی در تقابل با یکدیگر هستند. برای مثال افزایش کیفیت تجربه می‌تواند منجر به افزایش داده شود و افزایش داده می‌تواند تأخیر شبکه را به همراه داشته باشد که از میزان کیفیت سرویس می‌کاهد. ازآنجایی‌که بازیکنان ترجیح می‌دهند که بازی روان‌تر ولو باکیفیت کمتر داشته باشند [۵] - نسبت به اینکه کیفیت بازی بالاتر باشد اما به‌طور مداوم قطع شود - می‌توان این‌گونه برداشت کرد که کیفیت سرویس بر کیفیت تجربه می‌تواند ارجحیت داشته باشد.

ازاین‌رو باتوجه‌به اهمیت اندازه‌گیری معیارهای کیفیت سرویس، در این پژوهش یک بستر بازی تحت ابر با رویکرد ارزیابی کارایی از طریق اندازه‌گیری زمان پاسخ[۱۰] فراهم‌سازی شده است. در این راستا ابتدا یک بازی رایانه‌ای پیاده‌سازی شده و سپس با استفاده از آن، یک بستر بازی تحت ابر فراهم شده است. پس از آن بازی پیاده‌سازی شده به اجرا درآمده و معیار زمان پاسخ برای آن اندازه‌گیری شده است. همچنین، نتایج تغییر در پنج مؤلفه‌ی کیفیت نمایش صحنه[۱۱]، مقدار حداکثر پهنای باند، تعداد فریم‌ها در هر ثانیه[۱۲]، تعداد کاربران متصل به‌صورت هم‌زمان و نوع سرویس‌گیرنده‌های آن‌ها بر روی زمان پاسخ موردمطالعه قرار گرفته است.

ساختار مقاله به این صورت می‌باشد که در بخش ۲ تعاریف و مفاهیم اولیه استفاده شده در این پژوهش آورده شده است. در بخش ۳ پیشینه‌ی تحقیق و پژوهش‌های مرتبط در این حوزه تشریح شده است. در بخش ۴ به روش تحقیق، بازی رایانه‌ای پیاده‌سازی شده، روند ساخت آن و فراهم‌سازی بستر بازی تحت ابر پرداخته شده است. در بخش ۵ به ارزیابی نتایج حاصل از اندازه‌گیری پرداخته شده است. در نهایت، در بخش ۶ نتیجه‌گیری و پژوهش‌های آتی مرتبط با این پژوهش بیان شده است.

۲- تعاریف و مفاهیم اولیه

۲-۱- بازی‌های رایانه‌ای

سیستم، مجموعه‌ای از مؤلفه‌ها است؛ ساختار این مؤلفه‌ها به‌گونه‌ای است که خصوصیات، عمل و روابط آن‌ها با یکدیگر یک کل را تشکیل می‌دهند که مجموعه‌ای از رفتارها را ایجاد می‌کنند. بازی‌ها سیستم هستند. بازی‌های رایانه‌ای سیستم‌هایی هستند که روی سیستم‌های دیگر اجرا می‌شوند. بازی رایانه‌ای یک بازی است که با کمک یک برنامه رایانه‌ای انجام می‌شود [۲].

بازی‌ها دارای پنج مؤلفه اصلی هستند. این مؤلفه‌ها عبارت‌اند از:

- بازیکن
- نمایش
- قوانین
- هدف
- حریف

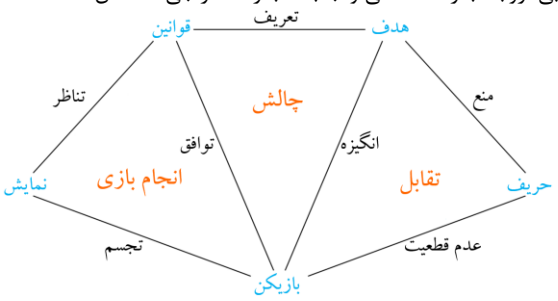
همچنین این مؤلفه‌ها و روابط آن‌ها در سه جنبه‌ی کلی چالش، تقابل و انجام بازی قرار می‌گیرند [۱].

چالش: چالش، قوانین بازی و درنتیجه هدف بازی را تعریف می‌کند. هنگامی که بازیکنان تصمیم می‌گیرند در بازی شرکت کنند، با پیروی از قوانین موافقت می‌کنند. هدف، باعث ایجاد انگیزه در بازیکنان می‌شود و بازی را به جلو سوق می‌دهد. رسیدن به هدف در بازی باعث ایجاد لذت در بازیکنان می‌شود.

تقابل: حریف، که می‌تواند شامل دیگر بازیکنان غیرقابل‌پیش‌بینی یا فرایندهای تصادفی باشد، بازیکنان را از رسیدن به هدف منع می‌کند. ازآنجاکه بازیکن شناخت کاملی از حریف ندارد، نمی‌تواند به طور دقیق تأثیر حریف را روی بازی تعیین کند.

انجام بازی: قوانین بازی انتزاعی هستند، اما با اجسام دنیای واقعی متناظرند. نمایش، موجب ایجاد تجسم برای بازیکن می‌شود [۱].

در شکل ۱ مؤلفه‌ها، روابط و جنبه‌های بازی نشان‌داده‌شده است. مؤلفه‌ها با رنگ آبی، روابط با رنگ مشکی و جنبه‌ها با رنگ نارنجی مشخص‌شده‌اند.



شکل ۱- مؤلفه‌ها، روابط و جنبه‌های بازی

۲-۲- فازهای طراحی و ساخت بازی

فازهای طراحی و ساخت بازی شامل سه مرحله‌ی پیش‌تولید، تولید و پسا تولید است. شکل ۲ روند و مراحل طراحی بازی را نمایش می‌دهد.

شکل ۲- روند و مراحل طراحی بازی

در مرحله‌ی پیش‌تولید مشخص می‌شود که بازی درباره چیست، چرا باید ساخته شود و ساخت آن به چه چیزی نیاز دارد. دو گزارش توسعه‌ی مفهوم[۱۳] و سند طراحی بازی[۱۴] در این فاز نوشته می‌شوند.

ساخت یک بازی معمولاً با یک ایده‌ی اولیه آغاز می‌شود. هدف گزارش توسعه مفهوم این است که این ایده را اصلاح و تکمیل کرده تا بتوان تصمیم گرفت که این بازی در مورد چیست. در گزارش توسعه مفهوم مواردی مانند ایده و موضوع بازی، نقش بازیکن، مخاطبان بازی، مکانیک بازی، وضعیت بازار، رقیبان این بازی، بستر انتشار بازی، مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا بازی ساخته شود، بودجه‌ی برآورده شده، ژانر بازی، اعضای تیم، منابع و نقش‌های مفهومی از طرح بازی[۱۵] باید بررسی شوند [۲].

در پایان پیش‌تولید، سند طراحی بازی نوشته می‌شود که جزئیات تمامی اتفاقات بازی را شرح می‌دهد. این گزارش به‌عنوان یک مرجع در طول توسعه استفاده و به‌روز می‌شود. سند طراحی بازی شامل موارد زیر است:

- فهرست: ازآنجایی‌که پیمایش در این سند باید آسان باشد، فهرست نقش مهمی در این سند بازی می‌کند. این فهرست باید ساختارمند، مفصل و دقیق باشد.
- بررسی اجمالی: یک خلاصه‌ی تک صفحه‌ای از ساختار بازی است. هدف آن ایجاد یک دید کلی به اعضای جدید تیم طراحی بوده و شامل موارد زیر است: مفاهیم و ایده‌های اصلی، خلاصه‌ای یک پاراگرافی از داستان بازی، ویژگی‌های اصلی بازی و دلایل موفقیت بازی
- داستان بازی: داستان بازی باید برای خواندن آسان باشد. داستان شامل موارد زیر است: تنظیمات بازی، عناصر اصلی طرح، کاراکترهای اصلی که بازیکن با آن‌ها وارد بازی می‌شود و کاراکترهای غیر بازیکن شامل دشمنان یا کاراکترهایی که به کاراکترهای بازیکن کمک می‌کنند و به‌طورکلی کاراکترهایی که تحت فرمان کاربر نیستند [۲].
- مکانیک بازی: قوانینی است که حرکت‌ها و عملکردهای بازیکنان و همچنین واکنش بازی در قبال آن‌ها را هدایت می‌کند. مکانیک‌های بازی به طور مؤثری نحوه عملکرد بازی را برای بازیکنان مشخص می‌کند. مکانیک بازی شامل موارد زیر است:
  - قابلیت‌های بازیکنان: شامل هر کاری که بازیکنان می‌توانند انجام دهند و چگونگی انجام آن‌ها
  - رابط کاربری
  - فعالیت‌های نگهداری بازیکن [۱]
- رفتار فضای بازی: بیانگر این توصیف است که فضای بازی در مقابل عملکردهای بازیکن چه رفتاری را نشان می‌دهد. رفتار فضای بازی شامل این موارد است: رفتار کاراکترهای غیر بازیکن نسبت به فعالیت‌ها و عملکرد بازیکن، رفتار کاراکترهای غیر بازیکن هنگامی‌که بازیکن در اطراف آن‌ها نیست و رفتار کاراکترهای غیر بازیکن نسبت به یکدیگر
- اجزای بازی: شامل کاراکترهای بازیکن و غیر بازیکن، آیتم‌ها[۱۶] و اشیا[۱۷]است. آیتم‌ها می‌توانند توسط بازیکن برداشته و استفاده شوند ولی اشیا قابلیت برداشته شدن و استفاده شدن ندارند. توصیفات این بخش شامل موارد زیر است: توصیفات فیزیکی هر جزء، رفتار هر جزء، ارتباط آن جزء با سایر عناصر، مقایسه آن جزء با سایر عناصر، ایده و حدود طرح و تصویر آن جزء
- فرایند بازی: در این بخش، طراح بازی فرایند بازی را بر اساس داستان بازی به رخدادهای مختلفی که بازیکن آن‌ها را تجربه می‌کند تقسیم می‌کند و تصمیم می‌گیرد که این رخدادها چگونه با گذر زمان تغییر کنند و پیشرفته‌تر شوند. معمولاً رخدادهای کوچک تشکیل‌دهنده‌ی فرایند بازی، همان مراحل هستند.

برای هر مرحله باید این اطلاعات ثبت شود: ساختار مرحله، چگونگی تصویر و صدای آن، چالش اصلی، بخش مرتبط داستان با این مرحله و درجه‌ی سختی مرحله برای بازیکن

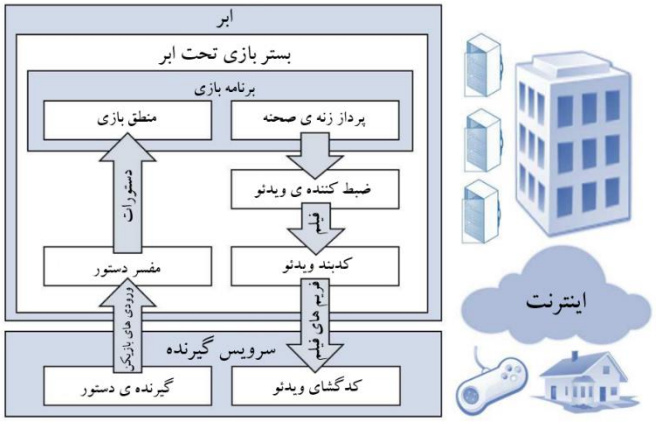
- منوی بازی: این بخش شامل توصیف منو و قابلیت‌های هر گزینه‌ی آن است.
- سبک طراحی‌های اجزای بازی: شامل معرفی سبک طراحی به‌کارگرفته‌شده در طراحی اجزای بازی و طراحی مقدماتی آن‌ها است.

مرحله‌ی تولید شامل سه زیر مرحله است. ابتدا یک نمونه‌ی اولیه از بازی ایجاد می‌شود. ایجاد نمونه‌ی اولیه موجب تقلیل ریسک‌ها می‌شود و از طریق آن می‌توان چگونگی بازی را مشاهده کرد و متوجه تغییرات موردنیاز شد. پس از آن به توسعه‌ی بازی پرداخته می‌شود که شامل برنامه‌نویسی به کمک نرم‌افزارها و فناوری‌های مدرن است. پس از اتمام توسعه، بازی تست می‌شود تا تمامی اشکالات بازی پیدا و اصلاح شوند.

مرحله‌ی پسا تولید نیز شامل پشتیبانی و به‌روزرسانی‌های بازی پس از انتشار آن در بازار می‌شود. هنگامی‌که بازی عرضه شد، روند ساخت در جهت نگه‌داری و به‌روزرسانی بازی هم چنان ادامه خواهد داشت [۲].

۲-۳- بازی تحت ابر، ساختار و مزایا

بازی تحت ابر به روشی جدید برای ارائه بازی‌های رایانه‌ای به کاربران اشاره دارد؛ جایی که بازی‌های دارای پیچیدگی محاسباتی در سرورهای ابری قدرتمند اجرا می‌شوند و صحنه‌های پردازش‌شده‌ی بازی[۱۸] از طریق اینترنت برای کاربرانی که دارای سرویس‌گیرنده‌های سبک هستند، به جریان[۱۹] درمی‌آید. رویدادهای کنترلی از طریق دستگاه‌های ورودی سرویس‌گیرنده‌ها، برای برقرار کردن تعامل به ابر باز پس فرستاده می‌شوند [۵]. ساختار و نحوه‌ی عملکرد بازی تحت ابر در شکل ۳ آورده شده است.



شکل ۳- ساختار و نحوه عملکرد بازی تحت ابر [۵]

در فضای ابر، یک بستر بازی تحت ابر، بر روی سرورهای ابری در یک یا چند مرکز داده میزبانی می‌شود. بستر بازی تحت ابر، بازی‌هایی را اجرا می‌کند که تقریباً می‌توان آن‌ها را به دو مؤلفه اصلی منطق بازی و پردازنده‌ی صحنه[۲۰] تقسیم کرد. منطق بازی وظیفه دارد دستورات بازیکن را به فعل‌وانفعالات درون بازی تبدیل کند. پردازنده‌ی صحنه، صحنه‌های ایجادشده‌ی بازی را به‌طور بی‌درنگ پرداز می‌زند. پرداز زدن، فرایند تبدیل یک ساختار سه‌بعدی به مجموعه‌ای از تصاویر دوبعدی است.

دستورات بازیکن از مفسر دستور[۲۱] گرفته می‌شود. صحنه‌های بازی نیز توسط ضبط کننده‌ی ویدئو[۲۲] به‌صورت فیلم ضبط می‌شود و سپس توسط کدبند ویدئو[۲۳] فشرده می‌شود. مفسر دستور، ضبط کننده ویدئو و کدبند ویدئو همه به‌عنوان بخشی از بستر بازی تحت ابر پیاده‌سازی شده‌اند.

بستر بازی تحت ابر تمام ورودی‌های بازیکن را از سرویس‌گیرنده دریافت و فریم‌های فیلم را به کاربر ارسال می‌کند. این سرویس‌گیرنده‌ها می‌توانند توان پایینی داشته باشند و از پیچیدگی پایینی برخوردار باشند، زیرا تنها به دو مؤلفه‌ی گیرنده‌ی دستور[۲۴] و کدگشای ویدئو[۲۵] نیاز دارند.

گیرنده‌ی دستور به کنترل‌کننده‌های بازی مانند کیبورد و موس متصل می‌شود. کدگشای ویدئو از تراشه‌های تولید انبوه ارزان محقق می‌شود [۵].

بازی تحت ابر دارای مزایای بالقوه‌ای برای بازیکنان و توسعه‌دهندگان است که در مقدمه به برخی از آن‌ها اشاره شد. این مزایا، به تفکیک برای بازیکنان و توسعه‌دهندگان بازی در جدول ۱ شرح داده شده‌اند [۴-۵].

جدول ۱- مزایای بازی تحت ابر برای بازیکنان و توسعه‌دهندگان

بازیکنان	توسعه‌دهندگان
حذف نیاز به سخت‌افزار قوی	تمرکز بر روی یک بستر واحد و درنتیجه کاهش هزینه‌ی توسعه
کاهش چشمگیر هزینه‌ها	افزایش بازیکنان به دلیل حذف نیاز به سخت‌افزار قوی
دسترسی به بازی در هر مکان و در هر زمان	عدم بارگیری بازی بر روی سرویس‌گیرنده
عدم نیاز به به‌روزرسانی مداوم	کاهش هزینه‌های پشتیبانی مشتریان
امکان تغییر سرویس‌گیرنده در هنگام اجرای یک بازی امکان خرید یا اجاره‌ی بازی‌ها	ارائه‌ی مدیریت حقوق دیجیتال[۲۶] بهتر به دلیل عدم دسترسی بازیکنان به کدهای بازی

۲-۴- کیفیت سرویس

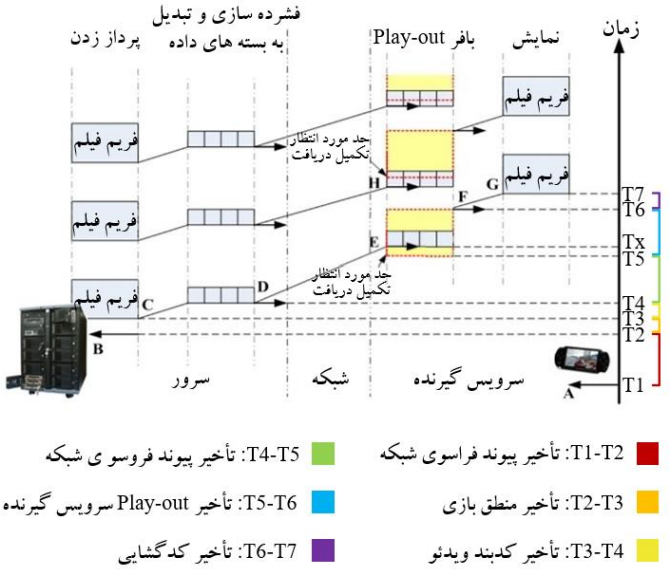
کیفیت سرویس بیانگر این است که مجموعه‌ای از نیازمندی‌های مرتبط با یک سرویس یا خدمت تا چه حدی برآورده می شود [۷]. علاوه بر این، کیفیت سرویس شامل مدیریت و بهینه‌سازی منابع و توانایی‌ها با تخصیص اولویت‌های مختلف به برنامه‌های مختلف، کاربران مختلف و جریان داده نیز می‌شود [۶]. اگر کیفیت سرویس خوب باشد، برنامه با سرعت بالایی اجرا خواهد شد که مستلزم زمان پاسخ کوتاه، تأخیر انتقال بسته‌ی کوتاه و میزان کم بسته‌های ازدست‌رفته[۲۷] است [۶].

۲-۵- زمان پاسخ

زمان پاسخ عبارت است از تفاضل زمانی که کاربر خروجی را دریافت کرده، از زمانی که کاربر درخواست را ارسال کرده است. زمان پاسخ یکی از معیارهای کارایی است [۸] و کاهش زمان پاسخ، منجر به افزایش کارایی می‌شود. زمان پاسخ در بازی تحت ابر از دو بخش زمان لازم برای پردازش[۲۸] و تأخیر شبکه تشکیل شده است [۴]. بنابراین برای کاهش زمان پاسخ در راستای افزایش کارایی باید مقدار این دو را کاهش داد. موارد تأثیرگذار بر روی تأخیر شبکه عبارت‌اند از: تأخیر انتقال بسته، تنوع تأخیر بسته[۲۹]، از دست رفتن بسته و خطای بسته[۳۰] [۷].

فرایند و بخش‌های تشکیل‌دهنده‌ی زمان پاسخ در ساختار بازی تحت ابر، در شکل ۴ رسم شده است. در لحظه‌ی T1 (نقطه‌ی A)، سرویس‌گیرنده یک دستور عملیاتی را ارسال می‌کند. سرور بازی این دستور را در لحظه‌ی T2 (نقطه‌ی B)، دریافت می‌کند. سپس فریم فیلم جدید بازی را در لحظه‌ی T3 (نقطه‌ی C)، پرداز می‌زند. فریم فیلم تولیدشده را فشرده و به بسته‌های داده تبدیل می‌کند و سپس در لحظه‌ی T4 (نقطه‌ی D)، به سمت سرویس‌گیرنده ارسال می‌کند. لحظه‌ی T5 حد مورد انتظار برای تکمیل دریافت همه‌ی بسته‌های یک فریم است. اگرچه به‌خاطر تغییرات تأخیر در پیوند فروسو[۳۱]، زمان دقیقی که برای دریافت تمام فریم‌ها در سرویس‌گیرنده سپری می‌شود، با این مقدار متفاوت است. به‌عنوان‌مثال اولین فریم فیلم به طور کامل در لحظه‌ی Tx (نقطه‌ی E)، دریافت شده است که دیرتر از حد انتظار است؛ درحالی‌که دومین فریم فیلم در نقطه‌ی H زودتر از حد انتظار به طور کامل دریافت می‌شود. بسته‌هایی که زودتر دریافت شده‌اند را می‌توان در یک بافر داده ذخیره کرد [۹].

هنگام دریافت، چون زمان دریافت بسته‌های هر فریم به دلیل تغییرات تأخیر در پیوند فروسو با هم تفاوت دارند در سمت سرویس‌گیرنده از یک بافر استفاده می‌شود. نمایش بسته‌های دریافت شده در بافر به یک‌زمان کوتاهی در آینده موکول می‌شود تا همه‌ی بسته‌ها دریافت شوند. به این زمان تأخیر play-out گفته می‌شود. در شکل ۴ بخشی که با رنگ زرد مشخص‌شده است، بازه‌ی مربوط به تأخیر بافر play-out است. سپس بسته‌ها باز می‌شوند و در لحظه‌ی T6 (نقطه‌ی F) از بافر خارج می‌شوند. در لحظه‌ی T7 (نقطه‌ی G)، کاربر فریم فیلم کدگشایی‌شده را دریافت و مشاهده می‌کند.



T1-T2: تأخیر پیوند فراسوی شبکه
T2-T3: تأخیر منطق بازی
T3-T4: تأخیر کدبند ویدئو
T4-T5: تأخیر پیوند فروسو ی شبکه
T5-T6: تأخیر Play-out سرویس گیرنده
T6-T7: تأخیر کدگشایی

شکل ۴- فرآیند و بخش‌های تشکیل‌دهنده‌ی زمان پاسخ در ساختار بازی تحت ابر

بر اساس تحلیلی که ارائه شد زمان پاسخ به چهار زیر بخش تقسیم می‌شود:

۱. تأخیر پیوند فراسوی شبکه[۳۲] یا D_{UL} که بازه‌ی آن از T1 تا T2 است.
۲. تأخیر سرور یا D_S که شامل دو بخش تأخیر منطق بازی، از T2 تا T3، و تأخیر کدبند ویدئو، از T3 تا T4، است.
۳. تأخیر پیوند فروسوی شبکه یا D_{DL} که بازه‌ی آن از T4 تا T5 است.
۴. تأخیر سرویس‌گیرنده یا D_C که شامل دو بخش تأخیر play out سرویس‌گیرنده یا D_{PL}، از T5 تا T6، و تأخیر کدگشایی، از T6 تا T7، است.

بنابراین زمان پاسخ یا RT می‌تواند توسط فرمول (۱) محاسبه گردد.

$$RT = D_{UL} + D_S + D_{DL} + D_C \quad (۱)$$

۳- پیشینه‌ی تحقیق

در این بخش به‌مرور پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه‌ی طراحی یا بهینه‌سازی بستر بازی تحت ابر با درنظرداشتن معیارهای کیفیت سرویس یا کیفیت تجربه پرداخته شده است.

پناهرا-پلا و همکاران، معیارهای کلیدی کیفیت را در بازی تحت ابر، اندازه‌گیری و ارزیابی کردند [۱۰]. آن‌ها در این تحقیق، چهارچوبی را برای ارزیابی کارایی بازی تحت ابر طراحی کردند. این سیستم، رویکرد بازی تحت ابر را در

سناریوها و شبکه‌های مختلف انتقال، از جمله اترنت و وای‌فای، ارزیابی می‌کند؛ هم‌چنین دستیابی به معیارها را به صورت خودکار انجام می‌دهد. از این‌رو با شناسایی پارامترهای اصلی در کارایی، تأثیر کلی بر تجربه‌ی کاربر از بازی، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. سیستم طراحی شده در این تحقیق، شامل یک مدل سرور- سرویس گیرنده و دو ابزار نرم افزاری است که برای کنترل و استخراج معیارها استفاده می‌شود.

طاها و همکاران، یک سیستم مدیریت تطبیقی کیفیت تجربه برای پخش فیلم با کیفیت بالا از شبکه‌های بی‌سیم، طراحی کردند [۱۱]. آن‌ها در این تحقیق، تأثیر پارامترهای درگیر بر اساس ویژگی‌های فیلم، ظرفیت کانال بی‌سیم و سرویس گیرنده‌ها که موجب کاهش کیفیت تجربه می‌شوند، را مورد مطالعه قرار داده‌اند؛ سپس بر مبنای این مطالعات یک الگوریتم هوشمند پخش فیلم با هدف مدیریت کیفیت تجربه کاربران، ارائه کرده‌اند. این الگوریتم شامل دو رویکرد است: رویکرد استفاده از یادگیری ماشین برای پیش‌بینی کیفیت تجربه و رویکرد مدیریت بر طبق کیفیت تجربه‌ی پیش‌بینی شده.

همتی و همکاران، در تحقیق خود از الگوریتم انتخاب شیء برای تأمین و بهبود ارزیابی‌ها استفاده کردند [۱۲]. الگوریتم انتخاب شیء مبتنی بر فعالیت بازیکن، فهرستی از میزان اهمیت هر شیء را نگهداری می‌کند. این فهرست توسط طراحان بازی که به‌طور دقیق محتوای بازی و اهمیت هر شیء برای فعالیت‌های مختلف درون بازی را می‌دانند، ایجاد شده است. در هر فریم اهمیت هر شیء بر اساس فعالیت فعلی بازیکن ارزیابی می‌شود. این فعالیت می‌تواند شامل راه رفتن، دویدن، نشانه‌گیری، شلیک و غیره باشد. تشخیص عملکرد بازیکن با استفاده از تعدادی حسگر مجازی در بازی انجام می‌شود. ایده اصلی در رویکرد مقاله مذکور این است که اشیای با اهمیت کمتر از صحنه بازی حذف شوند تا پرداز زدن و کدبندی فریم‌ها زمان کمتری به طول انجامد. علاوه بر این برای پخش ویدئو حاصل‌شده، نرخ بیت[۳۳] کمتری حاصل می‌شود. این روش باعث کاهش زمان پردازش در هر فریم می‌شود. ازآنجایی‌که اشیای کمتری برای افزودن به صحنه وجود دارد، کاهش چشم‌گیری در زمان لازم برای تولید تصویر کلی برای فریم‌های کنونی خواهد بود.

هی و همکاران، پارامترهای متغیر شبکه را از جنبه‌ی چندنفره بودن مورد بررسی قرار داده‌اند [۱۳]. در مقاله‌ی آن‌ها، برای بهبود کارایی، یک بافر وضعیت و یک الگوریتم زمان‌بندی آگاه از محتوای بسته معرفی شده است. از این بافر برای تخمین بافر سرویس‌گیرنده و اطلاعات پخش استفاده می‌شود. این تخمین را بر اساس بازخوردهای تائید انجام می‌دهد. سپس با استفاده از این تخمین، ضرورت بسته[۳۴] را محاسبه می‌کند. ضرورت بسته با توجه به زمان انتظار آن در صف کنترل دسترسی رسانه تعیین می‌شود. در مقاله مذکور، با در نظر گرفتن اولویت بسته[۳۵]، ضرورت بسته و وضعیت کانال، یک تابع بهینه‌سازی جدید ارائه شده است که زمان‌بندی بسته‌ها و تخصیص منابع را بهینه می‌کند. هدف این روش بهبود کیفیت فیلم دریافت شده و پیوستگی پخش است. برای دستیابی به تعادل بین کیفیت فیلم و تداوم پخش، باید زمان پخش با تغییر تجربه پخش به‌روز شود.

در تحقیق انجام شده توسط کلیپول و همکارش آمده است که تأخیر انتقال بسته برای یک عمل را می‌توان به بسیاری از اجزای شبکه از جمله مدت‌زمان انتظار بسته در صف مسیریاب در هنگام ازدحام شبکه نسبت داد [۱۴]. اقدامات بازیکن در یک بازی در دو محور اصلی دقت و مهلت طبقه‌بندی می‌شود. این دو تأثیر، تأخیر در آن عمل را تعیین می‌کنند. برای مثال شلیک کردن نیازمند دقت بالا و مهلت کم است. در مورد بازی‌هایی که اقدامات آن‌ها نیازمند دقت بالاتر و مهلت کمتر هستند، تأثیر میزان تأخیر بر روی کارایی بسیار زیاد است. اما در کل هر چه میزان تأخیر بیشتر باشد کارایی کمتر خواهد بود. میزان کاهش کارایی با میزان تأثیرگذاری تأخیر در ارتباط است. در بازی‌هایی که اقدامات آن‌ها نیازمند دقت بالا و یا مهلت کم نیستند و به‌موقع نرسیدن بسته‌ها مشکل اساسی ایجاد نمی‌کند، تأثیر تأخیر بر روی کارایی کمتر است.

منجم و همکاران، معیاری کمّی را جهت ارزیابی کیفیت ویدئو ارائه کرده‌اند که این معیار مبتنی بر ناحیه‌ی موردعلاقه در بازی تحت ابر است [۱۵]. در این مقاله به هر ناحیه از ویدئو وزنی داده شده است. این وزن، نسبت خیرگی کاربر به ناحیه‌های مختلف ویدئو، به کیفیت هر ناحیه است. برای به دست آوردن کیفیت نهایی از جمع وزن‌دار استفاده شده است. برای ارزیابی میزان کارایی، نتایج حاصل با نتایج نظری کاربران مقایسه شده و همبستگی بالایی بین این دو مشاهده شده است.

در تحقیق انجام شده توسط دونگ و همکاران، الگوریتم‌هایی بیان شده است که ترکیبی از تخصیص مؤثر منابع و زمان‌بندی مناسب درخواست‌ها به‌منظور کاهش هزینه است [۱۶]. پارامتری که به‌عنوان نیازمندی کیفیت سرویس در نظر گرفته شده، مقدار زمانی است که هر کاربر در ارائه‌دهنده‌ی خدمات نرم‌افزاری[۳۶] منتظر می‌ماند. ارائه‌دهنده‌ی خدمات نرم‌افزاری یک مجموعه از منابع محاسباتی را که از یک یا چند ابر IaaS (مانند Amazon EC2) به‌دست‌آمده‌اند، مدیریت می‌کند. درخواست‌های کاربران ممکن است دارای نیازمندی کیفیت سرویس متفاوتی باشند، از این‌رو هزینه پرداختی برای هر درخواست متفاوت است. روش گفته‌شده در مقاله از سه مؤلفه‌ی اصلی تشکیل شده است: صف، زمان‌بند و فراهم‌کننده. درخواست‌هایی که به ارائه‌دهنده‌ی خدمات نرم‌افزاری می‌رسند در صف نگه‌داری می‌شوند. زمان‌بند دارای یک سری قواعدی است که ترتیب سرویس‌دهی درخواست‌ها را مشخص می‌کند. فراهم‌کننده دارای یک سری الگوریتم‌های تأمین منابع ابری است؛ بر صف نظارت می‌کند و تصمیماتی در راستای تأمین می‌گیرد که می‌تواند به‌طور پویا یا ثابت باشد. نتایج حاصل در این مقاله بیان می‌کند که به‌طورکلی، الگوریتم ارائه شده (تحت عنوان FQoSA) گزینه مناسب‌تری برای تأمین منابع در برنامه‌های حساس به تأخیر آگاه از کیفیت سرویس است؛ به‌استثنای مواقعی که درخواست‌ها دارای جریان بسیار کند و قابل پیش‌بینی هستند. در این موارد، الگوریتم دیگر ارائه شده به نام QoSA توسط همین مقاله عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد.

دهیب و همکاران، الگوریتمی را برای مدیریت منابع ارائه کرده‌اند که از میزان زمان پاسخ، انرژی و هزینه آگاه است [۱۷]. این الگوریتم برای تخصیص ماشین-های مجازی در یک زیر ساخت ابر توزیع شده، به کار می‌رود. موقعیت جغرافیایی مراکز داده بر میزان زمان پاسخ، انرژی و هزینه اثر می‌گذارد. هزینه‌ی مراکز داده ای که در مناطق سردسیر نصب شده اند، کمتر است زیرا به خنک کننده کم‌تری نیاز دارند؛ در نتیجه، مصرف انرژی به حداقل می‌رسد. با این حال، مراکز داده‌ای که در نزدیکی مناطق پرجمعیت نصب شده اند، هزینه‌ی بالاتری را به دلیل منابع محدودشان یا نیاز به خنک کننده تحمیل می‌کنند؛ بنابراین مصرف انرژی بیشتر است. از طرف دیگر، تخصیص منابع در مراکز داده نزدیک‌تر، می‌تواند زمان پاسخ کوتاه‌تر را تضمین کند که این مطلب می‌تواند موجب افزایش کارایی و افزایش کیفیت تجربه شود اما با افزایش هزینه و انرژی همراه است. در این تحقیق با تأکید بر رابطه‌ی این مؤلفه‌ها، یک الگوریتم تخصیص ماشین‌های مجازی بر اساس مدل پیش‌بینی میانگین متحرک[۳۷] ارائه شده است که تقابل این معیارها را ثبت و بهترین تخصیص بر اساس آن‌ها را ارائه می‌کند.

حسین نژاد و همکاران، یک تخصیص منابع آگاه از وضعیت بازی را برای بازی تحت ابر مبتنی بر شبکه‌های تعریف شده با نرم‌افزار[۳۸]، ارائه کرده‌اند [۱۸]. طبق تحقیق انجام شده توسط آن‌ها، تأخیر کم و پهنای‌باند زیاد برای اطمینان از کیفیت تجربه ضروری است؛ در حالی که آستانه‌ی قابل تحمل تأخیر بر اساس وضعیت بازی متفاوت است. از این رو ابتدا یک شبکه‌ی تعریف شده با نرم افزار با هدف تسهیل در برقراری ارتباط اطلاعات بازی و کنترل آن، طراحی شده است؛ سپس یک الگوریتم تخصیص منابع ارائه شده است که به صورت پویا نیازمندی‌های بازی

مانند تأخیر، پهنای‌باند و وضعیت بازی را در نظر می‌گیرد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که از این طریق زمان پاسخ کاهش یافته و کنترل‌پذیری و کیفیت تجربه افزایش داشته است.

ونگ و همکارش در تحقیق خود، سه روش بهینه‌سازی برای لایه‌ی برنامه را ارائه کرده‌اند [۹]. این روش‌ها با هدف مناسب‌سازی زمان پاسخ و کیفیت فیلم ارائه شده‌اند. در این تحقیق برای ایجاد بستر بازی تحت ابر، سرور محتوای بازی مرسوم سنتی، با افزودن دو مؤلفه گسترش داده شده است. این دو مؤلفه عبارت‌اند از سرور موتور بازی‌سازی و سرور پخش بازی. روند جابه‌جایی اطلاعات بین سرور و سرویس‌گیرنده به این صورت است که کاربر تلفن همراه یک دستور بازی در دستگاه تلفن همراه صادر می‌کند که با استفاده از کانال بی‌سیم اتصال به سرور بازی از راه دور تحویل داده می‌شود و توسط سرور محتوای بازی پذیرفته می‌شود. سپس سرور موتور بازی‌سازی، اطلاعات حساب سرویس‌گیرنده و داده‌های بازی را از سرور محتوای بازی بارگیری می‌کند و شروع به پردازش منطق بازی و داده‌های کاربر می‌کند تا فیلم خام بازی پرداز زده شود. فیلم خام تولیدشده توسط سرور پخش بازی کدبندی و فشرده می‌شود و به آدرس ارسال می‌گردد و درنهایت از طریق اتصال بی‌سیم پیوند فروسو برای کاربر تلفن همراه ارسال می‌شود. در مقاله‌ی مذکور به بهینه‌سازی D_{DL} و D_{UL} و D_{PL} پرداخته شده است.

۴- روش تحقیق

ازآنجایی‌که تعداد کاربران اینترنت روزبه‌روز در حال افزایش است، نیازمندی به کارایی بالا نیز افزایش یافته است [۱۹]. همان‌طور که در بخش تعاریف و مفاهیم اولیه گفته شد، زمان پاسخ از معیارهای کارایی است و در بازی تحت ابر، از دو بخش زمان لازم برای پردازش و تأخیر شبکه تشکیل‌شده است. از طرفی، به حداقل رساندن تأخیر یک چالش اساسی برای توسعه‌دهندگان بازی تحت ابر است [۴]. همچنین تجربه کاربر از بازی وابستگی زیادی به شرایط شبکه دارد. بنابراین، اندازه‌گیری و ارزیابی معیارهای مختلف شبکه در بازی‌های ابری بسیار مهم است [۵]. به منظور ارزیابی کارایی از طریق اندازه‌گیری زمان پاسخ، در این مقاله، ابتدا بر اساس مؤلفه‌ها، روابط و جنبه‌های بازی‌ها که در بخش تعاریف و مفاهیم اولیه به آن‌ها اشاره شد و بر مبنای فازهای طراحی و ساخت بازی، یک بازی رایانه‌ای پیاده‌سازی شده است. پس‌ازآن یک بستر بازی تحت ابر فراهم شده و بازی پیاده‌سازی شده بر روی آن قرار داده شده است. سپس مقدار زمان پاسخ بر مبنای تغییر در کیفیت نمایش صحنه، مقدار حداکثر پهنای‌باند و تعداد فریم‌ها در هر ثانیه محاسبه و مقایسه شده‌اند که در بخش‌های بعدی به جزئیات آن پرداخته می‌شود.

۴-۱- پیاده‌سازی بازی رایانه‌ای

پیش‌تولید:

طبق مطالب گفته‌شده در بخش تعاریف و مفاهیم اولیه، در مرحله‌ی پیش‌تولید مشخص می‌شود که این بازی درباره چیست، چرا باید ساخته شود و ساخت آن به چه چیزی نیاز دارد. دو گزارش توسعه‌ی مفهوم و سند طراحی بازی در این فاز نوشته می‌شوند. گزارش توسعه‌ی مفهوم بازی ساخته‌شده در این پژوهش در جدول ۲ به طور خلاصه بیان شده است.

در پایان پیش‌تولید، سند طراحی بازی نوشته شده است که شامل جزئیات تمامی اتفاقات بازی است. این گزارش به‌عنوان یک مرجع در طول توسعه استفاده و به‌روز گردیده است. به دلیل حجم بالای این سند، تنها بخش بررسی اجمالی آن در این مقاله آورده شده است که به شرح زیر است.

نام بازی Escape of Zazo می‌باشد، زیرا داستان بازی نجات جان موجود فضاییِ گیر افتاده در زمین و فرار از آن است. این بازی یک بازی دوبعدی است و نمای بازی سوم شخص است. بازی تک‌نفره است و ژانر آن Casual است، زیرا بازیکنان می‌توانند آن را در بازه‌های زمانی کوتاه مانند زمان‌های استراحت خود بازی کنند و به‌راحتی می‌توانند از آن خارج شوند.

سفینه‌ی زازو، موجود فضایی، در حال عبور از منظومه‌ی شمسی دچار نقص فنی شده است. وی در حال سقوط، سفینه‌اش را به سمت نزدیک‌ترین جرم آسمانی، سیاره‌ی زمین، هدایت کرده است. وی از این سقوط جان سالم به در برده است، اما انسان‌ها وی را در یک آزمایشگاه برای انجام تحقیقات بیشتر زندانی کرده‌اند. وقتی زازو به هوش می‌آید خود را در یک آزمایشگاه یافته و متوجه شرایط می‌شود. او برای فرار از زمین نیاز به پیداکردن سفینه‌ی خود، تعمیر آن و تأمین سوخت موردنیاز دارد. اما در این راه انسان‌ها متوجه تلاش او برای فرار از آزمایشگاه می‌شوند و ربات‌های خود را برای دستگیری مجدد وی به دنبال او می‌فرستند.

جدول ۲- گزارش توسعه مفهوم بازی ساخته‌شده

اجزا	توصیف
ایده و موضوع	فرار موجود فضایی از آزمایشگاهی در سیاره زمین از طریق جمع‌آوری قطعات موردنیاز
نقش بازیکن	ورود به بازی در نقش موجود فضایی، یافتن قطعات پراکنده‌شده در صفحه‌ی بازی، فرار از دست انسان‌هایی که به دنبال وی هستند
مکانیک بازی	قابلیت‌های بازیکن: • حرکت به سمت بالا، پایین، چپ و راست با استفاده از کلیدهای سمت بالا، پایین، چپ و راست • جمع‌آوری قطعات موردنیاز چالش بازی: جابه‌جایی در نقشه با هدف جمع‌آوری قطعات، به‌طوری‌که توسط انسان‌ها دستگیر نشود
رقیبان بازی	Pacman داستان بازی: بازیکن باید از روح‌های موجود در بازی فرار کند و به جمع‌آوری امتیازهای موجود در سطح نقشه‌ی بازی بپردازد مکانیک بازی: بازیکن با استفاده از کلیدهای بالا، پایین، چپ و راست به جابه‌جایی کاراکتر در سطح نقشه، جمع‌آوری امتیازات و فرار از روح‌ها می‌پردازد مقایسه: داستان و گرافیک ضعیف
هدف بازی	قراردادن بازی در بستر بازی تحت ابر و اندازه‌گیری و تحلیل معیارهای کیفیت سرویس روی آن
بستر انتشار	PC
سبک بازی	Casual
نقطه‌ی دید	سوم‌شخص
کاراکترها	موجود فضایی: قابلیت جابه‌جایی در نقشه توسط بازیکن قابلیت جمع‌آوری قطعات موردنیاز برای تعمیر سفینه توسط وی توسط انسان‌ها دستگیر می‌شود انسان‌ها: قابلیت جابه‌جایی در جهت‌های بالا، پایین، چپ و راست در نقشه توسط هوش مصنوعی منطق بازی قابلیت دستگیری موجود فضایی
نقش‌های مفهومی از طرح بازی	موجود فضایی، انسان‌ها، قطعات سفینه و سفینه‌ی سالم

یک بازیکن در نقش موجود فضایی وارد بازی می‌شود. او باید در هر مرحله متناسب با آن مرحله چالش موجود را حل کند تا به مرحله‌ی بعدی برود و در پایان با فرار کردن موجود فضایی از سیاره‌ی زمین و بازگشت به فضا بازی تمام و بازیکن برنده می‌شود. در این راه، بازیکن باید از دست ربات‌های ساخته‌شده توسط انسان‌ها فرار کند. آن‌ها همواره در حال تعقیب بازیکن هستند. اگر آن‌ها به بازیکن برسند، او را دستگیر می‌کنند و بازیکن می‌بازد.

چالش مراحل اولیه جمع‌آوری سوخت است. در مراحل بالاتر به جمع‌آوری قطعات سفینه پرداخته می‌شود. در آخر با حل پازل و قراردادن تکه‌های جداشده‌ی سفینه در کنار هم، سفینه تکمیل شده و موجود فضایی موفق به فرار از زمین می‌شود. بازیکن در هر مرحله با فشار دادن دکمه‌های چپ، راست، بالا و پایین کاراکتر موجود فضایی را به‌قصد جمع‌آوری سوخت یا قطعات سفینه، یا برای فرار از دست ربات‌ها در صفحه‌ی بازی جابه‌جا می‌کند.

امروزه کهکشان‌ها و موجودات فضایی برای همه جذاب هستند. باتوجه‌به فعالیت‌های علمی اخیر در این حوزه، مباحث مرتبط به این موضوع‌ها در بازی‌ها هم بسیار موردتوجه قرار گرفته‌اند.

تولید:

پس از مرحله پیش‌تولید، به مرحله تولید پرداخته شده است. در این مرحله، ابتدا یک نمونه‌ی اولیه از بازی ساخته شده و تغییرات موردنیاز شناسایی و اعمال شده‌اند. سپس، توسعه بازی آغاز شده است. بخش توسعه، شامل برنامه‌نویسی به کمک نرم‌افزارها و فناوری‌های مدرن است. در همین راستا در این بازی از موتور بازی‌سازی Unity [۲۰] استفاده شده است.

موتور بازی‌سازی، نرم‌افزاری است که برای تولید و پیاده‌سازی بازی‌ها طراحی شده است. این موتور چهارچوبی برای توسعه‌دهندگان فراهم می‌کند که به کمک آن می‌توان یک بازی را برای بسترهای مختلف پیاده‌سازی کرد. این کار از طریق ایجاد یک لایه انتزاعی بین بازی و سخت‌افزار انجام می‌گیرد [۲].

Unity یک موتور بازی‌سازی است که دارای محیط توسعه یکپارچه[۳۹] درون خود است و توسط شرکت Unity Technologies ساخته شده است [۲۰]. از این موتور بازی‌سازی در جهت توسعه بازی‌های ویدئویی برای بسترهای وب، سیستم‌عامل‌های دسکتاپ، کنسول‌ها و دستگاه‌های تلفن همراه استفاده می‌شود.

اسکریپت‌نویسی در Unity با زبان C# صورت می‌گیرد. در ادامه، بازی با استفاده از موتور بازی‌سازی Unity پیاده‌سازی شده است. به دلیل کمبود فضا، کلاس دیاگرام بازی پیاده‌سازی شده، که حاوی جزئیات فنی نرم‌افزار بازی است، در پیوست ۱ قرار داده شده است، ولی از ارائه‌ی توضیحات مبسوط درباره‌ی آن خودداری شده است. معماری به‌کاررفته در ساختار این بازی، معماری MVC است. معماری MVC شامل سه بخش Mode، View و Controller است. ایده‌ی اصلی معماری MVC این است که نمایش داده‌های اصلی برنامه و قوانین بازی (Model) باید از نحوه‌ی ارائه‌ی آن و نمایش بازی به کاربر (View) و از نحوه‌ی تعامل کاربر با آن (Controller) جدا باشد.

برای افزودن قابلیت اتصال بازی به شبکه، در پیاده‌سازی از Mirror API استفاده شد. Mirror API یک رابط برنامه کاربردی[۴۰] سطح بالای متن‌باز برای موتور بازی‌سازی Unity است. این رابط جهت افزودن قابلیت تعامل کاربر با بازی و یا سایر کاربران بازی، در بازی‌های چندنفره، از طریق شبکه به کار می‌رود و از انواع انتقال‌های سطح پایین لایه‌ی انتقال پشتیبانی می‌کند. به کمک این رابط می‌توان کدهای سمت گیرنده و فرستنده را در کنار هم و در یک پروژه گسترش داد [۲۱].

برای اجرای بازی در ابتدا یک نسخه از بازی در سرور اجرا می‌شود و از طریق Network Manager HUD روی سرور تنظیم می‌شود. اسکریپت Network Manager HUD با ایجاد دکمه‌های گرافیکی هنگام اجرای بازی، به کاربر قدرت انتخاب می‌دهد که این نسخه‌ی بازی سرور باشد یا سرویس‌گیرنده یا میزبان. پس از اجرا شدن سرور، با متصل شدن سرویس‌گیرنده، بازی آغاز می‌شود. از روی پیش‌ساخته[۴۱] های مربوط به کاراکترهای بازیکن و غیر بازیکن، شیءهای مربوط به آن‌ها روی سرور ساخته و نمایش داده می‌شوند. ازآنجایی‌که این اشیا باید روی سرویس‌گیرنده نیز نمایش داده شوند، سرور آن‌ها را Spawn می‌کند. با این کار آن‌ها روی سرویس‌گیرنده نیز ایجاد می‌شوند. سیستم Spawn چرخه‌ی حیات آن‌ها را مدیریت می‌کند. همچنین وضعیت آن‌ها را بر اساس تنظیمات کدها همگام می‌کند؛ به این صورت که هرگونه تغییر روی این اشیا چه از طریق سرویس‌گیرنده و چه سرور، روی دیگری به‌روزرسانی شده و قابل‌مشاهده است. اما پارامترها و متغیرهای تعریف‌شده در اسکریپت‌های آن اشیا بر روی دیگری به‌روزرسانی نمی‌شوند. برای اینکه به‌روزرسانی‌های مربوط به این متغیرها نیز به دیگر اجزای متصل به شبکه ارسال شود، نیاز به استفاده از برچسب [SyncVar] در هنگام تعریف آن‌ها است. این برچسب فقط از یک سری خاص از انواع داده پشتیبانی می‌کند.

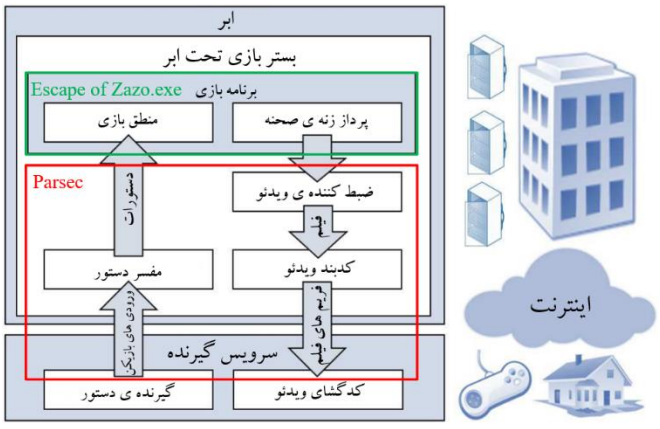
پسا تولید:

در انتها بعد از اتمام فاز تولید بازی، روند و اجزای آن تست شده و اشکالات موجود شناسایی و رفع شدند.

۴-۲- فراهم‌سازی بستر بازی تحت ابر

برنامه‌ی بازی ساخته‌شده بر روی یک سرور ابری قابل نصب است. برنامه‌ی بازی، دستورات کاربر را روی جهان بازی اجرا می‌کند و صحنه‌های ایجادشده‌ی بازی را پرداز می‌زند. با استفاده از نرم‌افزار Parsec [۲۲] در سمت سرور، کدبندی ویدئو روی سرور و پخش فریم‌های فیلم برای کاربر صورت می‌گیرد. از طرفی نرم‌افزار Parsec در سمت سرویس‌گیرنده ورودی‌ها و دستورات کاربر را نیز برای سرور می‌فرستد. بنابراین با استفاده از Parsec می‌توان یک بستر بازی تحت ابر را فراهم آورد.

Parsec یک نرم‌افزار پخش بازی[۴۲] است که شبیه به Remote desktop برای یک سیستم ویندوز عمل می‌کند [۲۳]. به کمک Parsec دستگاهی با توان کم (سرویس‌گیرنده) به دستگاهی با توان بالا (میزبان یا سرور) متصل می‌شود. Parsec از روش‌هایی در شبکه برای کاهش قابل‌توجه تأخیر و درعین‌حال حفظ کیفیت گرافیکی عالی استفاده می‌کند. این نرم‌افزار دارای جامعه‌ی بزرگی از بازیکنان آنلاین است. می‌توان Parsec را به بازی‌ها افزود. به‌طورکلی می‌توان از Parsec برای پخش و جریان سازی و اجرای بازی در سرور، به صورت از راه دور برای سرویس‌گیرنده، استفاده کرد. مطابق شکل ۵، اگر برنامه‌ی بازی، سرورهای ابری و Parsec در کنار یکدیگر یک مجموعه در نظر گرفته شود می‌توان به‌عنوان یک بستر بازی تحت ابر از آن استفاده کرد.



شکل ۵- بستر بازی تحت ابر فراهم‌شده

برنامه‌ی بازی دارای دو مؤلفه‌ی اصلی منطق بازی و پردازنده‌ی تصویر است و Parsec نیز تمام ورودی‌های بازیکن را از سرویس‌گیرنده دریافت و در قالب دستورات کاربر به سرور ارسال می‌کند. همچنین دارای ضبط کننده‌ی ویدئو است و فریم‌های فیلم را به کاربر ارسال می‌کند. با داشتن این مجموعه، سرویس‌گیرنده‌ها می‌توانند تنها با همان دو مؤلفه‌ی ذکرشده متصل شده و بازی کنند. روند ارائه‌ی بازی پیاده‌سازی شده در بستر بازی تحت ابر به‌صورت زیر است:

سمت میزبان:

۱. اجرای بازی تولیدشده بر روی سیستم
۲. قراردادن بازی بر روی نرم‌افزار Parsec
۳. تنظیم تعداد اتصال و نوع دسترسی بازیکنان به بازی
۴. اشتراک‌گذاری لینک بازی به بازیکنان
۵. تنظیم دسترسی‌های سرویس بازیکنان

سمت سرویس‌گیرنده‌ها:

۱. ورود بازیکن به‌حساب و بازی از طریق لینک اشتراک‌گذاری شده
۲. انجام بازی توسط بازیکن

۵- نتایج و ارزیابی

در این بخش به اندازه‌گیری و مقایسه‌ی مقدار زمان پاسخ بر مبنای تغییر در پنج مؤلفه‌ی کیفیت نمایش صحنه، مقدار حداکثر پهنای باند، تعداد فریم‌ها در هر ثانیه، تعداد کاربران متصل به‌صورت هم‌زمان و نوع سرویس‌گیرنده‌های آن‌ها پرداخته شده است.

اندازه‌گیری‌ها طی هفت مرحله کلی صورت گرفته‌اند. در هر مرحله از ۱ تا ۶ کاربر به‌صورت هم‌زمان به بستر بازی تحت ابر فراهم‌شده، متصل گردیدند. جزئیات تعداد کاربران و نوع سرویس‌گیرنده‌ها در هرکدام از این مراحل در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- تعداد کاربران و نوع سرویس گیرنده‌ها

مرحله	تعداد کاربران متصل به‌صورت هم‌زمان	نوع سرویس‌گیرنده		
		لپ‌تاپ	تبلت	موبایل
۱	۱	۱	-	-
۲	۱	-	۱	-
۳	۲	۱	۱	-
۴	۳	۱	۱	۱
۵	۴	۱	۱	۲
۶	۵	۲	۱	۲
۷	۶	۲	۲	۲

در هر مرحله، برای ارزیابی تأثیر مؤلفه‌های کیفیت نمایش صحنه، مقدار حداکثر پهنای باند و تعداد فریم‌ها در هر ثانیه، هر بار، مقدار دو مؤلفه ثابت و بدون تغییر قرار داده شده و مقدار مؤلفه‌ی سوم در چند زیرمرحله به ترتیب مطابق مقادیر زیر تغییر داده شد.

۱. کیفیت نمایش صحنه:
   - ۷۲۰p (۱۲۸۰×۷۲۰)
   - ۱۰۸۰p (۱۹۲۰×۱۰۸۰)
   - ۲۱۶۰p (۳۸۴۰×۲۱۶۰)
۲. حداکثر پهنای باند:
   ۵، ۱۰ و ۱۵ مگابیت بر ثانیه (Mbps)
۳. تعداد فریم‌ها در هر ثانیه:
   ۳۰، ۶۰، ۱۰۰ و ۱۲۰

همان‌طور که در بخش تعاریف و مفاهیم اولیه گفته شد زمان پاسخ به چهار زیربخش تقسیم می‌شود:

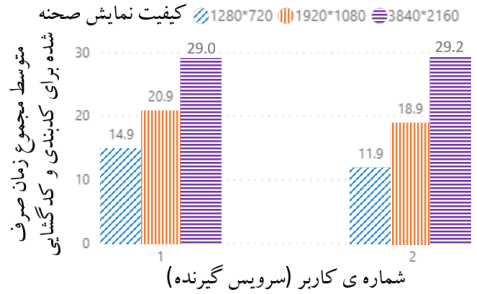
۱. تأخیر پیوند فراسوی شبکه
۲. تأخیر سرور؛ شامل دو بخش تأخیر منطق بازی و تأخیر کدبند ویدئو
۳. تأخیر پیوند فروسوی شبکه
۴. تأخیر سرویس‌گیرنده؛ شامل دو بخش تأخیر play out سرویس‌گیرنده و تأخیر کدگشایی

تأخیر پیوند فراسوی شبکه، تأخیر پیوند فروسوی شبکه و تأخیر play out سرویس‌گیرنده همگی در دسته‌ی بزرگ‌تری به نام تأخیر شبکه قرار می‌گیرند و بخشی از آن هستند؛ بنابراین می‌توان بخش‌های تشکیل‌دهنده‌ی زمان پاسخ را به‌صورت زیر بازنویسی کرد: تأخیر شبکه، تأخیر منطق بازی، تأخیر کدبند ویدئو و تأخیر کدگشایی.

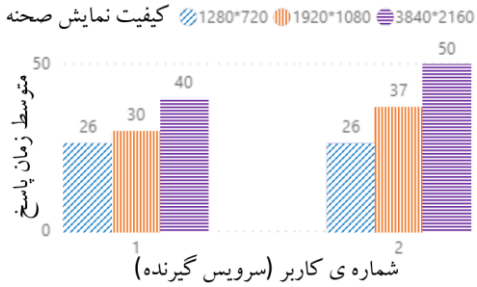
سه بخش تأخیر شبکه، تأخیر کدبند ویدئو و تأخیر کدگشایی، برحسب میلی ثانیه، در نرم‌افزار Parsec قابل‌اندازه‌گیری هستند. در نتیجه می‌توان با اندازه‌گیری این سه مقدار، زمان پاسخ را به طور تقریبی به دست آورد. بنابراین بعد از اعمال هر تغییر در بستر بازی تحت ابر فراهم‌شده در هر یک از زیرمراحل، مقادیر به‌دست‌آمده برای پارامترهای تأخیر کدگشایی، تأخیر کدبند ویدئو، تأخیر شبکه، نرخ بیت و زمان پاسخ اندازه‌گیری و ثبت شد. از این اندازه‌گیری‌ها تعداد زیادی داده حاصل گردید. تجسم این داده‌ها[۴۳] در نرم‌افزار Power BI [24] رسم و منجر به تولید تعداد زیادی نمودار شد که تعدادی از آن‌ها در این مقاله آورده شده است. با تحلیل این نمودارها می‌توان زمان پاسخ بستر بازی تحت ابر فراهم‌شده نسبت به هر تغییر را اندازه گرفته و با یکدیگر مقایسه کرد. با این کار تأثیر مقدار هر یک از این پنج مؤلفه بر زمان پاسخ و میزان کارایی سیستم مشخص می‌شود. حاصل این تحلیل‌ها نمودارهایی است که در ادامه آورده شده‌اند.

تأثیر کیفیت نمایش صحنه بر کارایی:

برای ارزیابی این مؤلفه، مقدار مؤلفه‌های حداکثر پهنای باند و تعداد فریم‌ها در هر ثانیه، ثابت قرار داده شده و کیفیت نمایش صحنه و تعداد کاربران متصل به‌صورت هم‌زمان تغییریافته است. مقدار حداکثر پهنای باند برابر ۵ مگابیت بر ثانیه (Mbps) و تعداد فریم‌ها در هر ثانیه برابر ۳۰ است. کیفیت نمایش صحنه هر بار به ترتیب برابر ۷۲۰p (۱۲۸۰×۷۲۰)، ۱۰۸۰p (۱۹۲۰×۱۰۸۰) و ۲۱۶۰p (۳۸۴۰×۲۱۶۰) قرار داده شده است و تعداد کاربران متصل به‌صورت هم‌زمان از ۱ تا ۶ کاربر تغییر کرده است. متوسط مقدار مجموع زمان‌های صرف شده برای کدبندی و کدگشایی و همچنین متوسط مقدار تقریبی زمان پاسخ برای یک کاربر متصل (مرحله ۱ و ۲) بر حسب تغییر در کیفیت نمایش صحنه در شکل ۶ نمایش‌داده‌شده است. در این شکل، تعداد کاربران متصل به‌صورت هم‌زمان برابر ۱ و نوع سرویس‌گیرنده‌ها لپ‌تاپ و تبلت است. کاربر شماره‌ی ۱ با لپ‌تاپ و کاربر شماره‌ی ۲ با تبلت متصل شده‌اند. در شکل ۷ نیز متوسط مقدار مجموع زمان‌های صرف شده برای کدبندی و کدگشایی برای سه کاربر متصل (مرحله ۴) بر حسب تغییر در کیفیت نمایش صحنه ترسیم شده است. کاربر شماره‌ی ۱ با لپ‌تاپ، کاربر شماره‌ی ۲ با تبلت و کاربر شماره‌ی ۳ با موبایل متصل شده‌اند. با مقایسه‌ی مقادیر به‌دست‌آمده می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش کیفیت نمایش صحنه، مجموع زمان‌های صرف شده برای کدبندی و کدگشایی و زمان پاسخ افزایش می‌یابد.

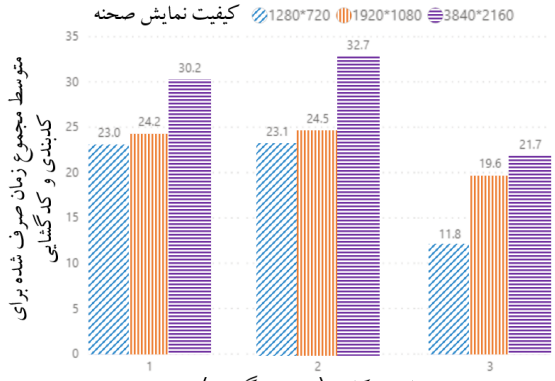


(الف) مجموع زمان‌های صرف شده برای کدبندی و کدگشایی



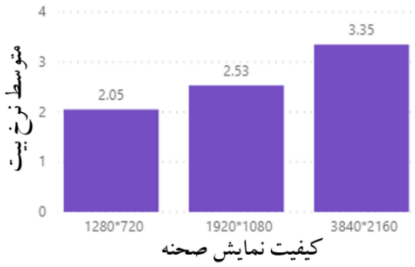
(ب) زمان پاسخ

شکل ۶- مقایسه‌ی متوسط مجموع زمان‌های صرف شده برای کدبندی و کدگشایی (الف) و زمان پاسخ (ب) در بازی تحت ابر ایجادشده برای یک کاربر متصل (مرحله ۱ و ۲) بر اساس افزایش مقدار کیفیت نمایش صحنه



شکل ۷- مقایسه‌ی متوسط مجموع زمان‌های صرف شده برای کدبندی و کدگشایی در بازی تحت ابر ایجادشده برای سه کاربر متصل (مرحله ۴) بر اساس افزایش مقدار کیفیت نمایش صحنه

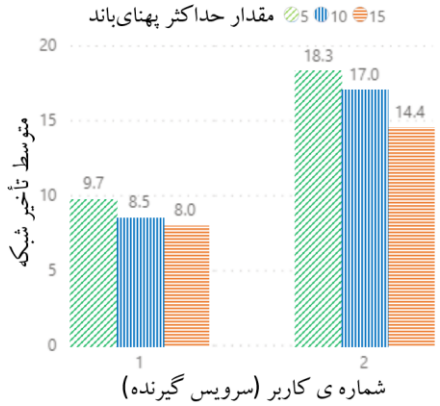
متوسط مقدار نرخ بیت، برای یک کاربر متصل (مرحله ۱ و ۲) بر حسب تغییر در کیفیت نمایش صحنه در شکل ۸ نمایش‌داده‌شده است. مطابق این شکل با افزایش کیفیت نمایش صحنه، نرخ بیت افزایش‌یافته است. در نتیجه، دلیل افزایش مجموع زمان‌های صرف شده برای کدبندی و کدگشایی و زمان پاسخ، با افزایش کیفیت نمایش صحنه، افزایش نرخ بیت است که در نتیجه‌ی افزایش تعداد پیکسل‌ها اتفاق می‌افتد و در مجموع افزایش کیفیت نمایش صحنه منجر به کاهش کارایی می‌شود.



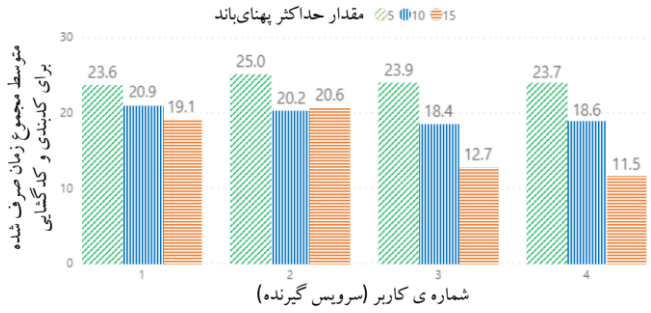
شکل ۸- مقایسه‌ی متوسط نرخ بیت در بازی تحت ابر ایجادشده برای یک کاربر متصل (مرحله ۱ و ۲) بر اساس افزایش مقدار کیفیت نمایش صحنه

تأثیر مقدار حداکثر پهنای باند بر کارایی:

برای ارزیابی این مؤلفه، مقدار مؤلفه‌های کیفیت نمایش صحنه و تعداد فریم‌ها در هر ثانیه، ثابت قرار داده شده و مقدار حداکثر پهنای باند و تعداد کاربران متصل به‌صورت هم‌زمان تغییریافته است. کیفیت نمایش صحنه برابر ۱۰۸۰p (۱۰۸۰×۱۹۲۰) و تعداد فریم‌ها در هر ثانیه برابر ۳۰ است. مقدار حداکثر پهنای باند هر بار برابر ۵، ۱۰ و ۱۵ مگابیت بر ثانیه (Mbps) قرار داده شده است و تعداد کاربران متصل به‌صورت هم‌زمان از ۱ تا ۶ کاربر متغیر است. متوسط مقدار تأخیر شبکه برای یک کاربر متصل (مرحله ۱ و ۲) بر حسب تغییر در مقدار حداکثر پهنای باند در شکل ۹ نمایش‌داده‌شده است. در این شکل، تعداد کاربران متصل به‌صورت هم‌زمان برابر ۱ و نوع سرویس‌گیرنده‌ها لپ‌تاپ و تبلت است. کاربر شماره‌ی ۱ با لپ‌تاپ و کاربر شماره‌ی ۲ با تبلت متصل شده‌اند. در شکل ۱۰ نیز متوسط مقدار مجموع زمان‌های صرف شده برای کدبندی و کدگشایی برای چهار کاربر متصل (مرحله ۵) بر حسب تغییر در مقدار حداکثر پهنای باند نمایش‌داده‌شده است. در این شکل، کاربر شماره‌ی ۱ با لپ‌تاپ، کاربر شماره‌ی ۲ با تبلت و کاربر شماره‌ی ۳ و ۴ با موبایل متصل شده‌اند. با مقایسه‌ی مقادیر به‌دست‌آمده می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش پهنای باند، تأخیر شبکه و مجموع زمان‌های صرف شده برای کدبندی و کدگشایی کاهش می‌یابد. دلیل این مسئله این است که با افزایش پهنای باند، مقدار داده‌ی دریافتی در سمت سرویس‌گیرنده در هر لحظه نسبت به قبل افزایش می‌یابد؛ بنابراین زمان کمتری برای انتقال کل داده لازم خواهد بود. همچنین، در مجموع میزان یکسانی از داده به‌دفعات کمتری کدبندی و کدگشایی می‌شود که در نتیجه زمان صرف شده برای این عملیات نیز کاهش پیدا می‌کند و این دو امر در مجموع موجب افزایش کارایی می‌شوند.



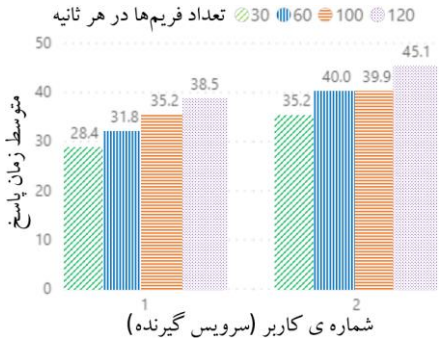
شکل ۹- مقایسه‌ی متوسط تأخیر شبکه در بازی تحت ابر ایجادشده برای یک کاربر متصل (مرحله ۱ و ۲) بر اساس افزایش مقدار حداکثر پهنای‌باند



شکل ۱۰- مقایسه‌ی متوسط مجموع زمان‌های صرف شده برای کدبندی و کدگشایی در بازی تحت ابر ایجادشده برای چهار کاربر متصل (مرحله ۵) بر اساس افزایش مقدار حداکثر پهنای‌باند

تأثیر تعداد فریم‌ها در هر ثانیه بر کارایی:

برای ارزیابی این مؤلفه، مقدار مؤلفه‌های کیفیت نمایش صحنه و حداکثر پهنای باند، ثابت قرار داده شده و تعداد فریم‌ها در هر ثانیه و تعداد کاربران متصل به‌صورت هم‌زمان تغییریافته است. مقدار حداکثر پهنای باند برابر ۵ مگابیت بر ثانیه (Mbps) و کیفیت نمایش صحنه برابر ۱۰۸۰p (۱۰۸۰×۱۹۲۰) است. تعداد فریم‌ها در هر ثانیه هر بار برابر ۳۰، ۶۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ قرار داده شده است و تعداد کاربران متصل به‌صورت هم‌زمان از ۱ تا ۶ کاربر متغیر است. متوسط مقدار زمان پاسخ برای یک کاربر متصل (مرحله ۱ و ۲) بر حسب تغییر در تعداد فریم‌ها در ثانیه در شکل ۱۱ نمایش‌داده‌شده است. در این شکل، تعداد کاربران متصل به‌صورت هم‌زمان برابر ۱ و نوع سرویس‌گیرنده‌ها لپ‌تاپ و تبلت است. کاربر شماره‌ی ۱ با لپ‌تاپ و کاربر شماره‌ی ۲ با تبلت متصل شده‌اند. با مقایسه‌ی مقادیر به‌دست‌آمده می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش تعداد فریم‌ها در هر ثانیه، زمان پاسخ افزایش می‌یابد. دلیل این مسئله، افزایش مقدار داده نسبت به قبل است که منجر به‌صرف زمان بیشتر برای پردازش و ارسال این حجم داده نسبت به قبل شده و موجب کاهش کارایی می‌شود.



شکل ۱۱- مقایسه‌ی متوسط زمان پاسخ در بازی تحت ابر ایجادشده برای یک کاربر متصل (مرحله ۱ و ۲) بر اساس افزایش تعداد فریم‌ها در هر ثانیه

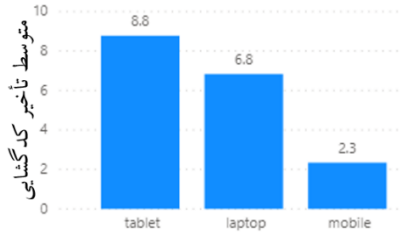
تأثیر تعداد کاربران متصل به‌صورت هم‌زمان بر کارایی:

از این مؤلفه در ارزیابی سایر مؤلفه‌ها استفاده شده که در متن به هر یک از آن‌ها اشاره شد. علاوه بر مطالب عنوان شده، ازآنجایی‌که برای ارزیابی‌ها از سطح گرافیک بالا استفاده شده است، در مرحله ۷، هنگامی که شش کاربر به طور هم-زمان به بستر بازی تحت ابر فراهم شده متصل شدند، به‌محض اتصال کاربر ششم، تمامی سرویس‌گیرنده‌ها از میزبان جدا می‌شدند. این بدان معناست که بستر بازی تحت ابر مورد مطالعه برای ارائه‌ی محتوای با سطح گرافیک بالا می‌تواند تنها به پنج کاربر به طور هم‌زمان خدمت‌رسانی کند. با کاهش سطح گرافیک، شش کاربر به طور هم‌زمان به بستر بازی تحت ابر فراهم شده متصل شدند، اما پس از تغییر تعداد فریم‌ها در هر ثانیه به ۱۰۰، دوباره تمامی سرویس‌گیرنده‌ها از میزبان جدا شدند. به‌عبارت‌دیگر، این بستر بازی تحت ابر برای ارائه‌ی محتوای با سطح گرافیک متوسط می‌تواند به شش کاربر به طور هم‌زمان و با تعداد حداکثر ۶۰ فریم در هر ثانیه خدمت‌رسانی کند.

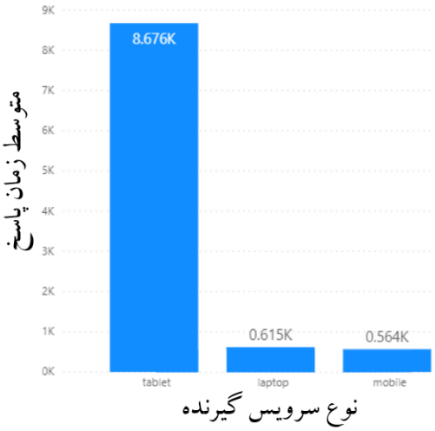
تأثیر نوع سرویس‌گیرنده بر کارایی:

برای ارزیابی این مؤلفه، مقدار مؤلفه‌های کیفیت نمایش صحنه، مقدار حداکثر پهنای باند، تعداد فریم‌ها در هر ثانیه و تعداد کاربران متصل به‌صورت هم‌زمان متغیر قرار داده شده تا تأثیر نوع سرویس‌گیرنده در مجموع و در شرایط مختلف بررسی شود. کیفیت نمایش صحنه هر بار برابر ۷۲۰p (۷۲۰×۱۲۸۰)، ۱۰۸۰p (۱۰۸۰×۱۹۲۰) و ۲۱۶۰p (۲۱۶۰×۳۸۴۰) و مقدار حداکثر پهنای باند هر بار برابر ۵، ۱۰ و ۱۵ مگابیت بر ثانیه (Mbps) و تعداد فریم‌ها در هر ثانیه هر بار برابر ۳۰، ۶۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ قرار داده شده‌اند. هم چنین تعداد کاربران متصل به‌صورت هم-زمان از ۱ تا ۶ کاربر متغیر است. سرویس‌گیرنده‌ها نیز شامل سه نوع لپ‌تاپ، تبلت و موبایل بوده‌اند.

متوسط مقدار تأخیر کدگشایی و زمان پاسخ برای سه کاربر متصل (مرحله ۴) بر حسب تغییر در نوع سرویس‌گیرنده در شکل ۱۲ نمایش‌داده‌شده است. در این شکل، کاربر شماره‌ی ۱ با لپ‌تاپ، کاربر شماره‌ی ۲ با تبلت و کاربر شماره‌ی ۳ با موبایل متصل شده‌اند. در شکل ۱۳ نیز متوسط مقدار تأخیر کدگشایی و زمان پاسخ برای چهار کاربر متصل (مرحله ۵) بر حسب تغییر در نوع سرویس‌گیرنده نمایش‌داده‌شده است. در این شکل، کاربر شماره‌ی ۱ با لپ‌تاپ، کاربر شماره‌ی ۲ با تبلت و کاربر شماره‌ی ۳ و ۴ با موبایل متصل شده‌اند. هر دو شکل نشان می‌دهند که مقدار هر دو پارامتر تأخیر کدگشایی و زمان پاسخ، برای موبایل کمینه و برای تبلت بیشینه هستند. با مقایسه‌ی مقادیر به‌دست‌آمده می‌توان به این نتیجه رسید که مقدار تأخیر کدگشایی و زمان پاسخ با نوع سرویس‌گیرنده در ارتباط هستند، بنابراین کارایی هنگام استفاده از موبایل، در میان انواع سرویس‌گیرنده‌ها، از همه بهتر و به دنبال آن به ترتیب لپ‌تاپ و تبلت قرار دارند.

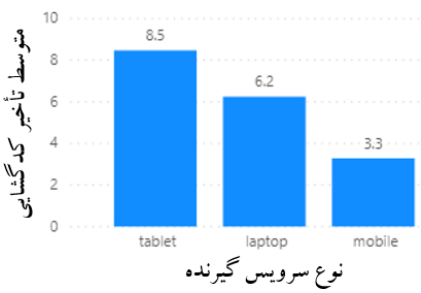


(الف) متوسط تأخیر کدگشایی

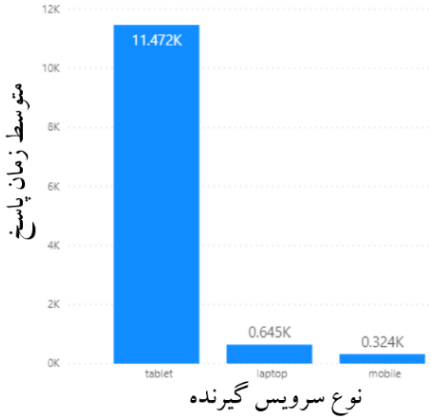


(ب) متوسط زمان پاسخ

شکل ۱۲- مقایسه‌ی متوسط تأخیر کدگشایی (الف) و زمان پاسخ (ب) در بازی تحت ابر ایجادشده برای سه کاربر متصل (مرحله ۴) بر اساس نوع سرویس گیرنده



(الف) متوسط تأخیر کدگشایی



(ب) متوسط زمان پاسخ

شکل ۱۳- مقایسه‌ی متوسط تأخیر کدگشایی (الف) و زمان پاسخ (ب) در بازی تحت ابر ایجادشده برای چهار کاربر متصل (مرحله ۵) بر اساس نوع سرویس گیرنده

۶- نتیجه‌گیری

بازی تحت ابر، در ساده‌ترین شکل خود، یک برنامه بازی تعاملی را از راه دور در فضای ابر ارائه می‌دهد و صحنه‌ها را به‌صورت دنباله‌ای از فیلم‌ها از طریق اینترنت برای بازیکن پخش می‌کند. این یک مزیت برای دستگاه‌های محاسباتی با قدرت کمتر است که توانایی اجرای بازی‌های با کیفیت بالا را ندارند. ازآنجایی‌که تعداد کاربران اینترنت روزبه‌روز در حال افزایش است، نیازمندی به کارایی بالا نیز رو به افزایش است. کارایی از منظرهای کیفیت سرویس است. کیفیت سرویس به توصیف یا اندازه‌گیری میزان کیفیت خدمات ارائه‌شده گفته می‌شود. از اهداف مهم کیفیت سرویس این است که یک سطحی از کارایی را تضمین کند. زمان پاسخ از معیارهای حوزه‌ی کارایی است و در بازی‌های تحت ابر، از دو بخش زمان لازم برای پردازش و تأخیر شبکه تشکیل شده است. از طرفی به‌حداقل‌رساندن تأخیر یک چالش اساسی برای توسعه‌دهندگان بازی تحت ابر است. همچنین تجربه کاربر از بازی، وابستگی زیادی به شرایط شبکه دارد؛ بنابراین، اندازه‌گیری و ارزیابی معیارهای مختلف شبکه در جهت بهبود کارایی در بازی‌های تحت ابر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در این تحقیق ابتدا تعریف بازی‌های رایانه‌ای، ساختار یک بازی و فازهای طراحی و ساخت آن ارائه شده و سپس بازی تحت ابر، ساختار و مزایای آن تشریح شد. پس از بیان مفاهیم و تعریف‌ها، مطابق با مراحل توسعه‌ی یک بازی، به پیاده‌سازی یک بازی اقدام گردید. گزارش توسعه‌ی مفهوم و سند طراحی بازی که شامل تمام جزئیات بازی است، نوشته شد. پس از عبور از مرحله‌ی پیش‌تولید، بازی وارد مرحله‌ی تولید شد. در این مرحله با ایجاد نمونه‌ی اولیه، تغییرات آن شناسایی و اعمال گردیده و سپس کد بازی نوشته شد. بعد از آن بازی تست شد و اشکالات آن رفع گردید. در ادامه با قراردادن برنامه‌ی بازیِ پیاده‌سازی شده بر روی سرورهای ابری و نرم‌افزار Parsec در کنار یکدیگر به‌عنوان یک مجموعه، یک بستر بازی تحت ابر ایجاد و بازی بر روی آن به اجرا درآمد. سپس تأخیر کدگشایی، تأخیر کدبند ویدئو، تأخیر شبکه و نرخ بیت در آن بر مبنای تغییر در پنج مؤلفه‌ی کیفیت نمایش صحنه، مقدار حداکثر پهنای باند، تعداد فریم‌ها در هر ثانیه، تعداد کاربران متصل به‌صورت هم‌زمان و نوع سرویس‌گیرنده‌های آن‌ها اندازه‌گیری و مقایسه شد. تأخیر کدگشایی، تأخیر کدبند ویدئو و تأخیر شبکه بخش‌هایی از زمان پاسخ هستند. ازآنجایی‌که زمان پاسخ یکی از معیارهای کیفیت سرویس از منظر کارایی است؛ با مدیریت و کاهش این تأخیرها، کارایی افزایش خواهد یافت و بازیکنان نیز تجربه‌ی بهتری از بازی خواهند داشت.

اندازه‌گیری‌ها و مقایسه‌ها در این تحقیق نشان داد که:

- با افزایش کیفیت نمایش صحنه، به دلیل افزایش تعداد پیکسل‌ها، نرخ بیت افزایش می‌یابد. در نتیجه‌ی افزایش نرخ بیت، مجموع زمان‌های صرف شده برای کدبندی و کدگشایی و همچنین زمان پاسخ افزایش می‌یابد و این مسئله منجر به کاهش کارایی می‌شود.
- با افزایش پهنای باند، به دلیل افزایش مقدار داده‌ی دریافت‌شده در سمت سرویس‌گیرنده در هر لحظه نسبت به قبل، با وجود ثابت بودن کل داده‌ی ارسالی از سمت میزبان، و کاهش دفعات کدبندی و کدگشایی، تأخیر شبکه و مجموع زمان‌های صرف شده برای کدبندی و کدگشایی کاهش می‌یابد که این موجب افزایش کارایی می‌شود.
- با افزایش تعداد فریم‌ها در هر ثانیه، به دلیل افزایش مقدار داده نسبت به قبل، زمان پاسخ افزایش می‌یابد و موجب کاهش کارایی می‌شود.
- بستر بازی تحت ابر فراهم شده برای ارائه‌ی محتوای با سطح گرافیک بالا می‌تواند تنها به پنج کاربر به طور هم‌زمان خدمت‌رسانی کند. با اتصال کاربر ششم تمامی سرویس‌گیرنده‌ها از میزبان جدا می‌شوند. هم چنین در صورت کاهش گرافیک، این بستر بازی تحت ابر می‌تواند به شش کاربر به طور هم‌زمان محتوای با سطح گرافیک متوسط را با تعداد حداکثر ۶۰ فریم در ثانیه ارائه دهد.
- نوع سرویس‌گیرنده در مقدار تأخیر کدگشایی و زمان پاسخ مؤثر است. همچنین موبایل کارایی بهتری در میان انواع سرویس‌گیرنده‌ها دارد و به دنبال آن به ترتیب لپ‌تاپ و تبلت قرار دارند.

به‌عنوان فعالیت‌های پژوهشی آتی و در امتداد این پژوهش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ارائه‌ی الگوریتم بهینه‌سازی در راستای کاهش تأخیرات زمانی ازجمله تأخیر انتقال بسته
- ارسال بخشی از فریم‌ها به‌جای تمام آن‌ها در راستای کاهش تأخیر توسط روش‌های یادگیری ماشین
- کاهش هوشمندانه‌ی گرافیک بازی با حفظ کیفیت تجربه‌ی کاربر و با هدف کاهش تأخیر

۷- مراجع

[1] H. H. Jouni Smed, *Algorithms and Networking for Computer Games*, 2nd ed. England: John Wiley & Sons, Ltd, 2017.

[2] S. Rabin, *Introduction to Game Development*, 2nd ed. (Game development series). Boston, MA: Course Technology Cengage Learning, 2010.

[3] R. E. Ferdig, *Handbook of Research on Effective Electronic Gaming in Education*. USA: IGI, 2008, p. 1762.

[4] R. Shea, J. Liu, E. C. Ngai, and Y. Cui, "Cloud Gaming: Architecture and Performance," *IEEE Network*, vol. 27, no. 4, pp. 16-21, 2013.

[5] W. Cai, R. Shea, C. Huang, K. Chen, J. Liu, V. C. M. Leung, and C. Hsu, "A Survey on Cloud Gaming: Future of Computer Games," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 7605-7620, 2016.

[6] P. Rajeswari and K. Jayashree, "Survey on QoS Metrics and Ranking in Cloud Services," *International Journal of Engineering & Technology*, Cloud Computing, vol. 7, no. 1.3, p. 146-149, 2017.

[7] M. Marchese, *QoS Over Heterogeneous Networks*, 1st ed. England: John Wiley & Sons Ltd, 2007, p. 328.

[8] M. H. Ghahramani, M. Zhou, and C. T. Hon, "Toward Cloud Computing QoS Architecture: Analysis of Cloud Systems and Cloud Services," *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, vol. 4, no. 1, pp. 6-18, 2017.

[9] S. Wang and S. Dey, "Addressing Response Time and Video Quality in Remote Server Based Internet Mobile Gaming," in *2010 IEEE Wireless Communication and Networking Conference*, Sydney, NSW, Australia, 18-21 April 2010, pp. 1-6.

[10] O. S. Penaherrera-Pulla, C. Baena, S. Fortes, E. Baena, and R. Barco, "Measuring Key Quality Indicators in Cloud Gaming: Framework and Assessment Over Wireless Networks," *Sensors (Basel),* vol. 21, no. 4, Feb 17 2021.
[11] M. Taha, A. Canovas, J. Lloret, and A. Ali, "A QoE Adaptive Management System for High Definition Video Streaming Over Wireless Networks," *Telecommunication Systems,* 2021. [Published Online]
[12] M. Hemmati, A. Javadtalab, A. A. N. Shirehjini, S. Shirmohammadi, and T. Arici, "Game as Video: Bit Rate Reduction through Adaptive Object Encoding," presented at the Proceeding of the 23rd ACM Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video, Oslo, Norway, 26 Feb-1 Mar, 2013.
[13] L. He, G. Liu, and Y. Chen, "Buffer Status and Content Aware Scheduling Scheme for Cloud Gaming Based on Video Streaming," in *2014 IEEE International Conference on Multimedia and Expo Workshops (ICMEW)*, Chengdu, China, 14-18 July 2014.
[14] M. Claypool and K. Claypool, "Latency and Player Actions in Online Games," *Commun. ACM,* vol. 49, pp. 40-45, 2006.
[۱۵] م. منجم، ر. ابوالفتحی، و ه. رودکی، "ارائه معیار کمی ارزیابی کیفیت ویدئو مبتنی بر ناحیه مورد علاقه در بازی‌های ابری، " نشریه علوم رایانش و فناوری اطلاعات، مجلد ۱۷، شماره ۱، سال ۱۳۹۸
[16] T. N. B. Duong, X. Li, R. S. M. Goh, X. Tang, and W. Cai, "QoS-Aware Revenue-Cost Optimization for Latency-Sensitive Services in IaaS Clouds," in *2012 IEEE/ACM 16th International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications*, Dublin, Ireland, 25-27 Oct. 2012.
[17] E. Dhib, K. Boussetta, N. Zangar, and N. Tabbane, "Cost, Energy, and Response Delay Awareness-Solution for Cloud Resources Management: Proposition of a Predictive Dynamic Algorithm for VMs Allocation Over a Distributed Cloud Infrastructure," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing,* 2021. [Published Online]
[18] M. H. Yami, F. Pakdaman, and M. R. Hashemi, "SARA-SDN: State Aware Resource Allocation in SDN to Improve QoE in Cloud Gaming," presented at the Proceedings of the 25th ACM Workshop on Packet Video, Istanbul, Turkey, 10-11 Jun, 2020.
[19] A. Khatibi Bardsiri and S. M. Hashemi, "QoS Metrics for Cloud Computing Services Evaluation," *International Journal of Intelligent Systems and Applications,* vol. 6, pp. 27-33, 11/08 2014.
[20] UnityTechnologies. "Unity." https://unity.com/ (accessed April, 2021).
[21] MirrorNetworking. "Mirror Networking Open Source Networking for Unity." https://mirror-networking.com/ (accessed April, 2021).
[22] P. Cloud. "Parsec." https://parsec.app/ (accessed April, 2021).
[23] Parsec. "Parsec SDK." https://parsec.app/game-streaming-technology (accessed April, 2021).
[24] Microsoft. "Power BI" https://powerbi.microsoft.com/ (accessed September, 2021).

فاطمه صفاری مدرک کارشناسی خود را در رشته‌ی مهندسی کامپیوتر در سال ۱۳۹۹ از دانشگاه علم و صنعت ایران دریافت نموده است. وی به عنوان توسعه دهنده، به HTML، CSS، PHP، Django، Bootstrap و Unity مسلط است و تاکنون چندین وب سایت، برنامه‌ی کاربردی و بازی طراحی نموده است. وی کارآموزی خود را در شرکت نرم نگاران پیشرو گذرانده است. همچنین در سال ۹۹ به عنوان کارآموز برتر دانشگاه، توسط دفتر استعدادهای درخشان دانشگاه علم و صنعت ایران، انتخاب شده است. زمینه تحقیقاتی وی بازی‌های رایانه‌ای و رایانش ابری می‌باشد. آدرس پست الکترونیکی ایشان عبارت است از:

fatemeh_saffari@comp.iust.ac.ir

رضا انتظاری ملکی استادیار دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه علم و صنعت ایران می‌باشد. ایشان مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی کامپیوتر- گرایش نرم افزار به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۸ از دانشگاه علم و صنعت ایران و مدرک دکتری خود را در همین رشته از دانشگاه صنعتی شریف در سال ۱۳۹۳ دریافت نموده است. پس از آن تا سال ۱۳۹۷ در پژوهشکده ی علوم کامپیوتر پژوهشگاه دانش‌های بنیادی (IPM) به عنوان محقق پسادکتری مشغول به تحقیق بوده‌اند. زمینه تحقیقاتی ایشان مدل‌سازی و ارزیابی کارایی، اتکاپذیری و کارایی پذیری، سیستم های محاسباتی توزیع شده، رایانش ابری و الگوریتم‌های زمانبندی می‌باشد. آدرس پست الکترونیکی ایشان عبارت است از:

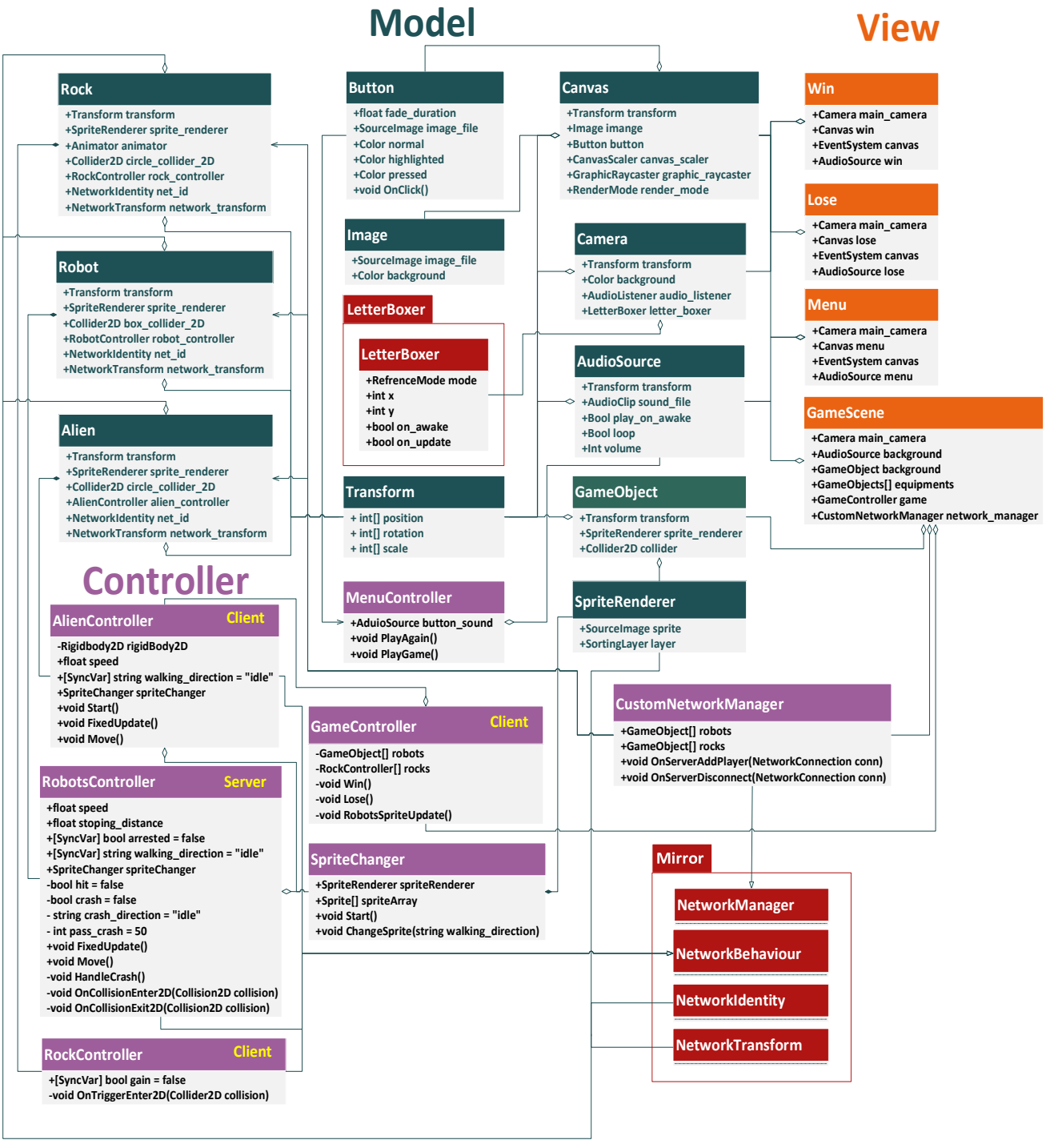
entezari@iust.ac.ir

---

[1] Real-time
[2] Gameplay mechanics
[3] Platform
[4] Cloud gaming
[5] Remotely
[6] Quality of Service (QoS)
[7] Quality of Experience (QoE)
[8] Latency
[9] Performance
[10] Response time
[11] Resolution
[12] Frame rate (frames per second or FPS)
[13] Concept development
[14] Game Design Document (GDD)
[15] Concept art
[16] Items
[17] Objects
[18] Rendered game scenes
[19] Stream
[20] Scene renderer
[21] Command interpreter
[22] Video capturer
[23] Video encoder
[24] Command receiver
[25] Video decoder
[26] Digital rights management (DRM)
[27] Packet loss
[28] Processing time
[29] Jitter
[30] Packet error ratio
[31] Network downlink delay
[32] Network uplink delay
[33] Bit rate
[34] Packet urgency
[35] Packet priority
[36] Application service provider
[37] Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA)
[38] Software-Defined Network
[39] Integrated development environment (IDE)
[40] Application program interface (API)
[41] Prefab
[42] Game streaming
[43] Data visualization

۸- پیوست ها

۸-۱- کلاس دیاگرام بازی پیاده‌سازی شده



The CSI Journal on Computing Science and Information Technology

The CSI Journal on
Computing Science and
Information Technology
Vol. 19, No.1, 2021

A Case study-based investigation of Cloud Gaming with Performance Evaluation Approach

Fatemeh Saffari, Reza Entezari-Maleki

School of Computer Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

Abstract

Cloud gaming is a new way to offer computer games to users. In this method, complex games are run on a powerful cloud server, and then rendered game scenes are sent to users via the Internet. Since all computations run on a cloud server, users with limited hardware can also play the games. Control events of users' devices are returned back to the cloud server, and users are constantly interacting with the cloud server. Quality of the service provided by a cloud-based game can be investigated in different aspects. Response time is one of the performance measures that can be evaluated in cloud gaming. In this paper, a case study of cloud gaming with performance evaluation approach through measuring response time is carried out. First, a computer game is implemented, and then a cloud gaming platform is provided. Afterwards, the response time is measured and compared based on changes in five components: resolution, maximum bandwidth limit, frame rate, total connected players simultaneously, and type of their devices. The results of this study show that increasing both the resolution and frame rate lead to reduced performance; and increasing the bandwidth limit increases the performance. Furthermore, mobile devices have superior performance in comparison to laptops and tablets. The provided cloud gaming platform can only provide services with high quality to five players at the same time.

Keywords: computer game; cloud gaming; performance; response time