



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی کامپیوتر

پروژه کارشناسی

رابط ارتباطی تحت وب خدمات زیرساخت بعنوان خدمت VCloud

نگارش

سید محمد فاطمی

استاد راهنما

دکتر محمود ممتازپور

اسفند ۱۴۰۱

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

صفحه فرم ارزیابی و تصویب پایان نامه - فرم تأیید اعضاء کمیته دفاع

در این صفحه فرم دفاع یا تایید و تصویب پایان نامه موسوم به فرم کمیته دفاع - موجود در پرونده آموزشی - را قرار دهید.

نکات مهم:

- نگارش پایان نامه/رساله باید به **زبان فارسی** و بر اساس آخرین نسخه دستورالعمل و راهنمای تدوین پایان نامه‌های دانشگاه صنعتی امیرکبیر باشد. (دستورالعمل و راهنمای حاضر)
- رنگ جلد پایان نامه/رساله چاپی کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترا باید به ترتیب مشکی، طوسی و سفید رنگ باشد.
- چاپ و صحافی پایان نامه/رساله بصورت **پشت و رو (دورو)** بلامانع است و انجام آن توصیه می شود.



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

به نام خدا

تعهدنامه اصالت اثر

تاریخ: اسفند ۱۴۰۱

اینجانب **سیدمحمدفاطمی** متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب تحت نظارت و راهنمایی اساتید دانشگاه صنعتی امیرکبیر بوده و به دستاوردهای دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است مطابق مقررات و روال متعارف ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح یا بالاتر ارائه نگردیده است. در صورت اثبات تخلف در هر زمان، مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از درجه اعتبار ساقط بوده و دانشگاه حق پیگیری قانونی خواهد داشت.

کلیه نتایج و حقوق حاصل از این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی امیرکبیر است. هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی، واگذاری اطلاعات به دیگران یا چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان‌نامه بدون موافقت کتبی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ممنوع است. نقل مطالب با ذکر مآخذ بلامانع است.

سیدمحمدفاطمی

امضا

تقدیم به
آن که جز به فضلش امیدی نیست...

سپاسگزاری

از پدر و مادرم که همواره در مواجهه با سختی‌های این دنیا دلسوزانه همراهم بوده‌اند؛
از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر محمود ممتازپور که با حسن خلق و گشاده‌رویی، رهنمودهای
شبانه‌روزی خود را از من دریغ نکرده‌اند؛
و از سایر عزیزانی که در کنارشان این نتیجه حاصل آمد کمال تشکر و قدردانی را دارم.

سید محمد فاطمی
اسفند ۱۴۰۱

چکیده

امروزه الگوی مصرف منابع محاسباتی و شبکه‌ای بسیار به الگوی رایانش ابری نزدیک شده. با این وجود ارائه دهندگان خدمات زیرساخت در داخل کشور همچنان فاصله زیادی تا ارائه خدمات منطبق بر الگوی رایانش ابری دارند. یکی از خدمات معروف مورد نیاز کاربران، نیاز به زیرساخت به عنوان خدمت است. چالش پیاده‌سازی این خدمت، پیاده‌سازی زیرساخت و درگاه‌های مورد نیاز جهت تحویل خدمات به کاربر است. در مورد مسئله اول، راه‌حل‌های متن‌باز و صنعتی متعددی ارائه شده‌اند. ایراد استفاده مستقیم از این راه‌حل‌های بدون نیاز به تغییر و پیاده‌سازی درگاه ارتباطی خصوصی، عدم امکان شخصی‌سازی امکانات و نحوه ارائه خدمات است. به علت متفاوت بودن الگوهای ارائه‌ی خدمت و مدیریت کاربران، این ابزارها، پیاده‌سازی این قسمت از سامانه را برعهده‌ی کاربر استفاده کننده قرار داده‌اند. در این پروژه به بررسی نیازمندی‌های یک سامانه‌ی ارائه‌ی خدمات زیرساخت به عنوان خدمت پرداخته شده و با بررسی و مشخص کردن نیازمندی‌ها و فناوری‌ها، یک رابط برنامه‌نویسی تحت وب برای خدمات مطرح شده بر روی زیرساخت VMWare Cloud Director ارائه شده‌است. در مراحل مختلف طراحی، تصمیمات و گزینه‌های مختلف مطرح شده و دلیل تصمیم‌گیری‌ها و انتخاب فناوری شرح داده شده. پس از پیاده‌سازی، با طرح و اجرای ارزیابی‌های مختلف بر روی این راه‌حل، از صحت عملکرد آن در سناریوهای واقعی اطمینان حاصل پیدا شده. در انتها با بررسی کلیت سامانه، نقاط بهبود و جایگاه‌های قابل توسعه در پروژه شرح داده شده که بتوان در جهت‌های مختلف این پروژه را توسعه داد و خدمات جامع‌تری را پوشش داد.

واژه‌های کلیدی:

رایانش ابری، زیرساخت به عنوان خدمت، رابط برنامه‌نویسی تحت وب، معماری میکروسرویس

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۱	.....	۱ مقدمه
۲	.....	۱-۱ مقدمه
۳	.....	۲-۱ تعریف مسئله
۳	.....	۳-۱ راه حل پیشنهادی
۴	.....	۱-۳-۱ احراز هویت
۴	.....	۲-۳-۱ خدمات ابری
۵	.....	۳-۳-۱ مدیریت و حسابداری
۵	.....	۴-۳-۱ قابلیت‌های غیرعملکردی
۶	.....	۴-۱ کارهای مشابه
۶	.....	۱-۴-۱ نمونه‌های داخلی
۷	.....	۲-۴-۱ نمونه‌های خارجی
۸	.....	۲ اجزا و فناوری‌ها
۹	.....	۱-۲ زیرساخت به عنوان خدمت
۱۰	.....	۱-۱-۲ VMWare Cloud Director
۱۱	.....	۲-۲ زبان برنامه‌نویسی
۱۱	.....	۱-۲-۲ زبان برنامه‌نویسی Go
۱۳	.....	۳-۲ استاندارد REST
۱۳	.....	۴-۲ پایگاه ذخیره داده
۱۴	.....	۱-۴-۲ پایگاه داده رابطه‌ای
۱۴	.....	۲-۴-۲ پایگاه داده غیر رابطه‌ای
۱۵	.....	۵-۲ معماری میکروسرویس
۱۷	.....	۶-۲ دروازه‌ی ورود رابط
۱۹	.....	۷-۲ داکر
۲۰	.....	۸-۲ نتیجه‌گیری

۲۱	۳ طراحی و پیاده‌سازی سیستم
۲۲	۱-۳ طراحی و معماری سیستم
۲۳	۲-۳ میکروسرویس‌ها
۲۳	۱-۲-۳ جزئیات فنی مشترک
۲۸	۲-۲-۳ قفل
۲۹	۳-۲-۳ ناظم
۳۰	۴-۲-۳ باجه
۳۵	۵-۲-۳ خادم
۳۷	۳-۳ دروازه‌ی ورود رابط
۳۷	۴-۳ خطایابی
۳۸	۵-۳ نتیجه‌گیری
۳۹	۴ بررسی و ارزیابی
۴۰	۱-۴ تست‌های واحد
۴۰	۲-۴ تست‌های ادغام
۴۴	۳-۴ تست بار
۴۵	۴-۴ محدودیت‌ها
۴۶	۵ جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای کارهای آتی
۴۷	۱-۵ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری
۴۷	۲-۵ پیشنهادات برای کارهای آتی
۴۷	۱-۲-۵ تجزیه میکروسرویس ناظم
۴۷	۲-۲-۵ ارتباطات رخداد پایه
۴۸	۳-۲-۵ نظارت و گزارش رخدادها
۴۹	۴-۲-۵ پشتیبانی از افزونه‌های VMWare Cloud Director
۵۰	کتاب‌نامه

فهرست تصاویر

شکل

صفحه

۱-۱	انواع مدل‌های رایانش ابری [۱۱]	۲
۱-۲	اجزای تشکیل دهنده vCloud [۱۳]	۱۰
۲-۲	معماری یک سامانه میکروسرویس بدون دروازه‌ی ورود رابط [۱۰]	۱۷
۳-۲	معماری یک سامانه میکروسرویس با وجود یک دروازه‌ی ورود رابط [۱۰]	۱۸
۴-۲	معماری داکر	۱۹
۵-۲	لایه‌های کانتینر داکر	۲۰
۱-۳	معماری کلی سامانه	۲۲
۲-۳	عملکرد چهارچوب Echo	۲۴
۴-۳	پوشه‌بندی مسیریاب Echo	۲۴
۳-۳	پوشه‌بندی توابع رسیدگی کننده Echo	۲۴
۵-۳	ساختار پوشه‌بندی برنامه‌های خط فرمان در پروژه خادم	۲۵
۶-۳	ساختار پوشه‌بندی چهارچوب ent	۲۷
۷-۳	ساختار پوشه‌بندی pkg	۲۸
۸-۳	عملکرد سرویس قفل	۲۸
۹-۳	پوشه بندی سرویس قفل	۲۹
۱۰-۳	عملکرد سرویس ناظم	۳۰
۱۱-۳	پوشه بندی سرویس ناظم	۳۱
۱۲-۳	عملکرد سرویس باجه	۳۲
۱۳-۳	پوشه بندی سرویس باجه	۳۳
۱۴-۳	لیست Endpoint های سرویس قفل	۳۳
۱۶-۳	لیست Endpoint های سرویس باجه	۳۴
۱۵-۳	لیست Endpoint های سرویس ناظم	۳۴
۱۷-۳	پوشه بندی سرویس خادم	۳۵
۱۸-۳	عملکرد سرویس خادم	۳۶

۴۸	۱-۵ معماری سامانه در حالت آسنکرون
۵۲	۲ ساختار موجودیت‌ها و رابطه‌ها در پایگاه داده قفل
۵۳	۳ ساختار موجودیت‌ها و رابطه‌ها در پایگاه داده باجه
۵۳	۴ ساختار موجودیت‌ها در پایگاه داده ناظم

فهرست جداول

صفحه

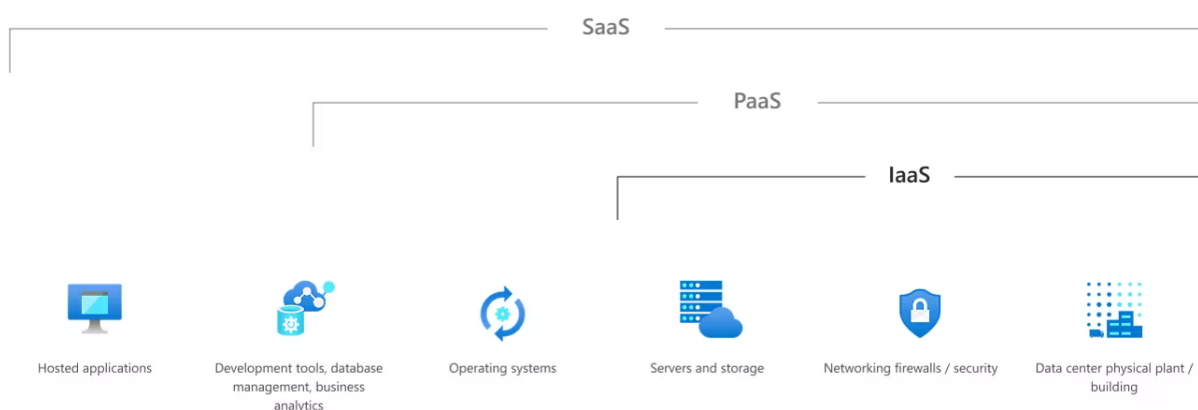
جدول

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

رایانش ابری^۱ یکی از حوزه‌های در حال تحول کامپیوتر است که به یک جنبه‌ی حیاتی از فناوری و مشاغل مدرن تبدیل شده است. این الگو همچون انقلابی، شیوه‌ی ارائه و مصرف منابع محاسباتی را متحول کرده است و فرصت‌های جدیدی را برای سازمان‌ها فراهم کرده تا کارایی و رقابت خود را بهبود بخشند. یکی از پایه‌ای‌ترین و رایج‌ترین شکل‌های رایانش ابری، زیرساخت به عنوان خدمت (IaaS)^۲ است که منابع محاسباتی مجازی مانند فضای ذخیره‌سازی، قدرت پردازش و پهنای باند را از طریق اینترنت در اختیار کاربران قرار می‌دهد [۹].



شکل ۱-۱: انواع مدل‌های رایانش ابری [۱۱]

این الگو را از دو دیدگاه می‌توان بررسی کرد. دیدگاه اول مختص کاربران مصرف‌کننده است که برای استفاده و مصرف منابع دیگر دغدغه‌ای نسبت به زیرساخت استفاده شده برای ارائه‌ی خدمات ندارند. دیدگاه دوم مربوط به ارائه‌دهندگان این خدمت است. از این دیدگاه، توسعه یک سکو^۳ کارآمد و قابل اعتماد که بتواند مشتریان را جذب و حفظ کند، بسیار مهم است. از این رو، شرکت‌ها و توسعه‌دهندگان سراسر دنیا همواره سعی در توسعه و فراهم کردن ابزارها با این هدف دارند. یکی از معروف‌ترین این شرکت‌ها، شرکت VMWare است که برنامه‌های فراوانی برای فراهم کردن زیرساخت ارائه‌ی خدمات ابری توسعه داده است. چالش بعدی ارائه‌دهندگان، فراهم کردن و طراحی یک رابط برنامه‌نویسی (API)^۴

^۱Cloud Computing

^۲Infrastructure As A Service

^۳Platform

^۴Application Programming Interface

است که بتواند با مشتریان و ارائه دهنده زیرساخت^۵ تعامل داشته باشد و آن‌ها را قادر سازد منابع مجازی خود را مدیریت کنند.

۲-۱ تعریف مسئله

در این پروژه قصد داریم که خدمات جامع یک ارائه‌دهنده‌ی زیرساخت به عنوان خدمت را که بر بستر ابزار^۶ VMWare Cloud Director فراهم شده است را توسط یک رابط برنامه‌نویسی به کاربران ارائه دهیم. برای این هدف، باید خدمات کاربردی، مدیریتی، نظارتی و امنیتی را در یک لایه‌ی جدا تعریف کنیم و این لایه از برنامه‌ی خود را با ابزار زیرساختی در تعامل نگه داریم.

۳-۱ راه حل پیشنهادی

برای توسعه این محصول، بایستی در ابتدا با بررسی نیازمندی‌ها و محدودیت‌های زیرساخت و کاربران، اقدام به طراحی کلی سامانه کرد. با توجه به گسترده بودن این نیازمندی‌ها و توسعه‌پذیری جداگانه آن‌ها، باید طراحی کلی این سامانه به صورت پیمانه‌ای^۷ و با کمترین وابستگی میان واحدها باشد. در این گزارش ابتدا به طراحی و شرح قسمت‌های مختلف سامانه می‌پردازیم و سپس جزئیات فنی هر قسمت و تعامل قسمت‌ها را بررسی می‌کنیم.

هدف ما، پیاده‌سازی یک سامانه‌ی کاربردی کامل است که با استفاده از رابط برنامه‌نویسی تحت وب، بتوانیم خدمات را از آن دریافت کنیم. این خدمات شامل موارد زیر است.

۱. احراز هویت

۲. خدمات ابری

۳. مدیریت و حسابداری

این خدمات باید با دسترسی‌پذیری بالا^۸ و به صورت توزیع‌شده^۹ توسعه پیدا کنند که پاسخگوی نیازمندی‌های کاربران در شرایط خاص و فشارهای بسیار بالا باشد.

⁵Infrastructure Provider

⁶<https://vmware.com/products/cloud-director.html>

⁷Modular

⁸Highly Available

⁹Distributed

۱-۳-۱ احراز هویت

هدف از پیاده‌سازی این قسمت، ایجاد سطوح دسترسی مختلف برای کاربران و کنترل دسترسی کاربران به منابع است. در این سامانه، کاربران انتظار خدمات زیر در حوزه احراز هویت را دارند.

- **ایجاد حساب کاربری:** کاربر سامانه باید بتواند با نام کاربری و کلمه عبور، اقدام به ساخت حساب کاربری نماید. پس از ساخته‌شدن این حساب، دسترسی به منابع فقط با داشتن این اطلاعات هویتی امکان‌پذیر است.
- **سطوح دسترسی مختلف:** با توجه به گستردگی خدمات ارائه‌شده، سطوح دسترسی متفاوتی باید داخل سامانه قابل تعریف باشد.
- **مدیریت دسترسی:** مدیر سامانه باید بتواند موقتاً یا دائماً دسترسی کاربران را از سامانه بگیرد.
- **صحت‌سنجی درخواست‌ها:** پس از احراز هویت کاربر، تمامی درخواست‌های ورودی به سامانه باید صحت‌سنجی شوند.

۲-۳-۱ خدمات ابری

کاربرد اصلی این سامانه، ارائه خدمات IaaS در بستر یک رابط برنامه‌نویسی تحت وب است. این خدمات با تمرکز بر ارائه ماشین‌های مجازی و عملیات قابل تعریف بر روی آن شامل موارد زیر است.

- ساخت ماشین مجازی
- حذف ماشین مجازی
- ویرایش مشخصات ماشین مجازی
- ساخت Image و برنامه‌های قابل اجرا روی ماشین مجازی
- حذف و ویرایش برنامه‌های قابل اجرا روی ماشین مجازی
- ارسال دستورات روشن، خاموش، راه‌اندازی مجدد به ماشین‌های مجازی
- ارسال دستور تهیه نسخه‌های پشتیبان از ماشین مجازی

- تعریف شبکه‌های محلی
- تعریف شبکه‌های خصوصی
- اضافه کردن ماشین مجازی به یک شبکه

۳-۳-۱ مدیریت و حسابداری

دسته دیگری از خدمات که علاوه بر کاربران، برای مدیر سامانه نیز تعریف می‌شود، عملیات مربوط به مدیریت، نظارت و حسابداری است. لیست این عملیات به شرح زیر است.

- تعریف سهمیه^{۱۰} منابع
- حذف سهمیه منابع
- بروزرسانی استفاده از سهمیه
- رصد کردن مصرف منابع
- دریافت گزارش از مصرف منابع
- تعریف اعتبار مالی
- تعریف هزینه‌های منابع
- اعتبارسنجی درخواست‌ها با توجه به سهمیه و اعتبار

۴-۳-۱ قابلیت‌های غیرعملکردی

علاوه بر نیازمندی‌ها و قابلیت‌های عملکردی که در بخش‌های گذشته مطرح شد، دسته دیگری از نیازمندی‌ها و قابلیت‌ها وجود دارد که جنبه‌ی غیرعملکردی دارند. این قابلیت‌ها مربوط به اجرا، امنیت، نگهداری و توسعه سامانه می‌شود.

در اجرای سامانه، باید به این نکته که بار سامانه بسته به تعداد کاربران و نوع درخواست‌ها تغییر می‌کند توجه داشت و تمهیدات لازم جهت اجرای مناسب برنامه در سناریوهای مختلف را تدارک دید. از

¹⁰Quota

جمله این تمهیدات، مقیاس کردن برنامه متناسب با بار، اجرای مجدد سامانه در صورت بروز خطا، تقسیم درخواست‌ها است.

گروه دیگری از قابلیت‌ها، مربوط به امنیت سامانه است. هدف از این قابلیت‌ها، شناسایی زودهنگام آسیب‌پذیری‌های ممکن و رفع آن‌ها در جهت بهبود امنیت سامانه در اجرای نهایی است. از جمله این قابلیت‌ها، سازوکارهای مقاوت بر آسیب‌پذیری‌های پایگاه داده، جلوگیری و کاهش اثر حمله‌های شبکه‌ای است.

دسته آخر از قابلیت‌های غیر عملکردی، شامل امور نگهداری و توسعه سامانه است. از میان این قابلیت‌ها، ثبت وقایع به شیوه موثر و مناسب، ذخیره معیار^{۱۱}های مختلف برنامه، پیاده‌سازی داشبوردهای نظارتی از کلیدی‌ترین نیازمندی‌های سامانه هستند.

در ادامه جزئیات فنی و ابزارهای مورد استفاده جهت ارائه این قابلیت‌ها توضیح داده شده‌است.

۴-۱ کارهای مشابه

با توجه به محبوبیت رایانش ابری و خدمات ارائه زیرساخت، اکثر قریب به اتفاق شرکت‌های فعال در این حوزه اقدام به ارائه درگاه‌های ارائه خدمات ابری به صورت رابط برنامه‌نویسی کرده اند که در ادامه با این محصولات آشنا می‌شویم.

۱-۴-۱ نمونه‌های داخلی

از بین شرکت‌های داخلی فعال در این حوزه، شرکت ابرآروان اقدام به ارائه‌ی خدمات IaaS در قالب رابط ارتباطی تحت وب کرده است.

این رابط که در این آدرس^[۱] تفسیر شده است، تمامی خدمات قابل تعریف بر روی ماشین مجازی و منابع مجازی را مشخص کرده. با توجه به متن‌بسته بودن این سرویس، نمی‌توان بیش از این در مورد معماری و جزئیات پیاده‌سازی خدماتی که ارائه می‌شود، صحبت کرد.

یکی دیگر از شرکت‌های ارائه دهنده خدمات مشابه، شرکت آسیاتک است. مستندات مربوط به عملکرد سرویس ارائه خدمات ابری این شرکت، در این آدرس^[۲] قرار داده شده‌است.

^{۱۱}Metric

۲-۴-۱ نمونه‌های خارجی

شرکت‌های بزرگ فعال در حوزه‌ی خدمات ابری نظیر گوگل، مایکروسافت، آمازون، دیجیتال اوشن، اوراکل و آی‌بی‌ام، همگی سرویس ارائه‌ی خدمات IaaS را به صورت عمومی برای استفاده کاربران فراهم کرده‌اند. معماری و نحوه‌ی سرویس‌دهی تمامی این ارائه‌دهندگان به شکل مشابه و بر مبنای الگوی پرداخت بر اساس مصرف^{۱۲} است. منتها به دلیل متن‌بسته بودن این سرویس‌ها، اطلاعات بیشتری در مورد جزئیات پیاده‌سازی آن‌ها در دسترس نیست. با این وجود، با بررسی دقیق‌تر و جزئی‌تر مستندات سرویس‌ها می‌توان کلیاتی در مورد طراحی و عملکرد سامانه‌ها به دست آورد که در فصل بعد به بررسی این موارد می‌پردازیم.

¹²Pay-As-You-Go

فصل دوم

اجزا و فناوری‌ها

در این فصل به بررسی ابعاد مختلف این پروژه و ابزارها و فناوری‌های مورد استفاده می‌پردازیم؛ سپس با بررسی جزئی هر یک از این اجزا و مقایسه با سایر گزینه‌ها، دلیل انتخاب خود را مطرح می‌کنیم.

۱-۲ زیرساخت به عنوان خدمت

برای ارائه‌ی خدمات رایانش ابری، نیازمند لایه‌ای از ابزارها و برنامه‌ها هستیم که با قرار گرفتن روی سخت‌افزار واقعی، منابع مجازی را برای ما فراهم کنند. ابزارهای مختلفی با معماری‌های مختلف با این هدف توسعه داده شده‌اند. شرکت‌های بزرگ فناوری همانند گوگل، آمازون و مایکروسافت این زیرساخت‌ها را به صورت مدیریت شده در اختیار کاربران قرار می‌دهند. سرویس‌های Google Cloud Engine، Amazon AWS و Microsoft Azure به ترتیب نام محصولات این شرکت‌ها با هدف ارائه خدمات رایانش ابری است.

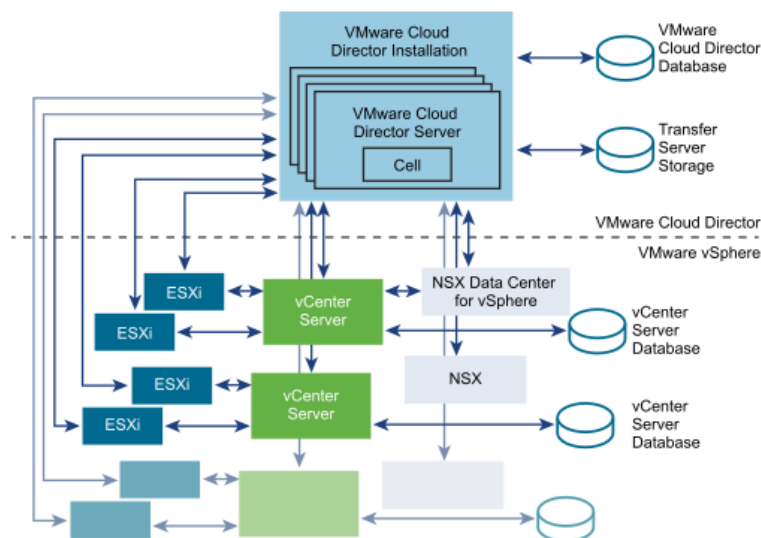
دسته دیگری از این برنامه‌ها، ماهیت خود میزبانی^۱ دارند. به این شکل که بایستی مستقیماً توسط کاربر بر روی سخت‌افزار واقعی نصب شوند. از جمله این محصولات می‌توان به VMWare vSphere، OpenStack و VMWare Cloud Director اشاره کرد.

از بین این ابزارها، با توجه به سابقه‌ی موفق شرکت VMWare در توسعه محصولات مربوط به مجازی‌سازی و همچنین جامع و کامل‌تر بودن امکاناتی که Cloud Director نسبت سایر محصولات ارائه می‌دهد، انتخاب ما برای انجام پروژه این محصول است.

¹Self Hosted

۱-۱-۲ VMWare Cloud Director

برنامه Cloud Director برای تعریف مراکز داده نرم‌افزار پایه (SDDC)^۲ است که قابلیت‌های زیرساخت به عنوان خدمت (IaaS) را در اختیار مشتریان قرار می‌دهد. این ابزار به مشتریان اجازه می‌دهد تا منابع مجازی شده شامل ماشین‌های مجازی، شبکه‌ها و فضای ذخیره‌سازی را در یک محیط ابری مدیریت کنند. معماری VMWare Cloud Director از چندین مؤلفه تشکیل شده است که با هم کار می‌کنند تا راه حلی بسیار در دسترس و مقیاس پذیر ارائه دهند. این اجزا در شکل ۱-۲ مشخص شده‌اند.



شکل ۱-۲: اجزای تشکیل دهنده vCloud [۱۳]

مهم‌ترین مولفه‌ی تشکیل دهنده، خدمت‌گزار vCenter است که وظیفه‌ی مدیریت منابع مجازی در مرکز داده را بر عهده دارد. خدمت‌گزار vCenter با فراناظر^۳ vSphere ارتباط برقرار می‌کند تا عملیات کلیدی مانند ایجاد، استقرار و مدیریت ماشین‌ها و منابع مجازی را انجام دهد. مولفه دیگر که برای مجازی‌سازی خدمات شبکه طراحی شده است، سکوی NSX است که وظیفه‌ی ارائه‌ی قابلیت‌های مجازی‌سازی شبکه به مرکز داده را بر عهده دارد. NSX مجازی‌سازی شبکه را با ایجاد شبکه‌های ایزوله از یکدیگر فراهم می‌کند و به چندین مستأجر^۴ اجازه می‌دهد تا زیرساخت فیزیکی مشابهی را بدون تداخل با یکدیگر به اشتراک بگذارند.

^۲Software Defined Data Center

^۳Hypervisor

^۴Tenant

مولفه‌ی مجازی‌سازی خدمات ذخیره‌سازی دائم، توسط vSAN ارائه شده‌است که یک سکوی ذخیره‌سازی نرم‌افزاری است که مشتریان را قادر می‌سازد منابع ذخیره‌سازی را در یک محیط مجازی مدیریت کنند. vSAN به مشتریان امکان ایجاد حجم^۵‌های ذخیره‌سازی مجازی را می‌دهد که می‌تواند برای ذخیره‌ی فایل‌های ماشین مجازی و همچنین فضای ذخیره‌ی اشیاء^۶ استفاده شود. در نهایت، سکوی VMWare Cloud Director یک رابط برنامه‌نویسی ارائه می‌کند که به مشتریان اجازه می‌دهد زیرساخت ابری خود را مدیریت کنند. این رابط برنامه‌نویسی بر پایه‌ی استاندارد REST تعریف شده که می‌تواند برای عملیات مختلف مانند ایجاد و مدیریت ماشین‌های مجازی، شبکه‌ها و حجم‌های ذخیره‌سازی استفاده شود.

۲-۲ زبان برنامه‌نویسی

برای پیاده‌سازی سامانه‌ی مورد نظر باید از یک زبان برنامه‌نویسی وب استفاده کنیم. با توجه به حجم بالای درخواست‌ها و فشار بر روی خدمت‌گزار، سرعت زیاد و حجم و پیچیدگی کم در منطق سامانه، از معیارهای کلیدی انتخاب زبان برنامه‌نویسی است. یکی دیگر از این معیارها، محبوبیت و توسعه‌پذیری زبان برنامه‌نویسی در آینده برای نیازمندی‌های احتمالی و پیش‌بینی نشده است. با توجه به این معیارها، انتخاب ما برای توسعه‌ی این پروژه، زبان برنامه‌نویسی Go است.

۱-۲-۲ زبان برنامه‌نویسی Go

زبان Go یک زبان برنامه‌نویسی تابعی^۷ است که با گذر زمان محبوبیت زیادی کسب کرده و توسط بسیاری از شرکت‌ها و توسعه‌دهندگان برای ساخت برنامه‌های کاربردی مقیاس‌پذیر^۸ استفاده می‌شود. این زبان برای توسعه‌ی یک سرویس جامع ارائه‌ی خدمات IaaS، مزیت‌های قابل توجه و همچنین معایبی دارد که در ادامه به شرح دقیق‌تر آن‌ها می‌پردازیم.

^۵Volume

^۶Object Storage

^۷Functional

^۸Scalable

مزایای استفاده از Go برای پیاده‌سازی یک رابط برنامه‌نویسی مقیاس‌پذیر شامل این موارد اس [۸]:

۱. **همزمانی^۹ به صورت ذاتی:** یکی از برجسته‌ترین مزایای Go، پشتیبانی قوی آن در مدیریت همزمانی است که آن را برای ساختن سیستم‌های بزرگ مقیاس که نیاز به استفاده‌ی کارآمد از منابع دارند، مناسب می‌کند. در یک محیط ابری که تقاضا برای منابع می‌تواند به سرعت تغییر کند، مدل پیاده‌سازی همزمانی در Go، به‌کارگیری منابع را در حالتی ایده‌آل حفظ می‌کند.

۲. **مدیریت حافظه:** Go دارای یک جمع‌کننده زباله^{۱۰} داخلی است که مدیریت حافظه را آسان‌تر می‌کند و برخلاف زبان‌های سطح پایین مانند C و C++ این فرصت را به توسعه‌دهندگان می‌دهد تا روی عملکرد برنامه‌شان تمرکز کنند. این مورد همچنین به کاهش خطر نشت حافظه^{۱۱} کمک می‌کند، که می‌تواند باعث ایجاد مشکلات پایداری و امنیتی شود.

۳. **سادگی:** Go دارای یک نحو^{۱۲} ساده و شبیه به زبان‌های بسیار معروف C و پایتون است که یادگیری و استفاده از آن را نسبت به زبان‌های دیگر برنامه‌نویسی آسان‌تر می‌کند.

۴. **کارایی^{۱۳}:** Go برای کارایی بهینه طراحی شده‌است. برای سامانه‌ها و برنامه‌هایی که باید بار پویا و در مقیاس بالا را مدیریت کنند، یک گزینه مناسب محسوب می‌شود. کامپایل شدن برنامه‌ها و اجرای مستقیم بر روی سیستم عامل در کنار محیط اجرای بهینه، این زبان برنامه‌نویسی را از نظر زمان اجرا در کنار زبان‌های سطح پایینی همچون C++ قرار می‌دهد. [۳]

با وجود این مزیت‌ها، چالش‌هایی نیز برای استفاده از این زبان برنامه‌نویسی مطرح اس [۸]. از جمله:

۱. **محدود بودن جامعه:** باوجود محبوبیت رو به رشد این زبان برنامه‌نویسی، به دلیل سن کم‌تر نسبت به زبان‌های دیگر مانند JavaScript، Java و یا Python، این زبان برنامه‌نویسی از جامعه‌ی متن‌باز کوچک‌تری برخوردار است که به سبب آن محدودیت‌هایی برای کتابخانه‌ها و قطعه کدهای خاص منظوره پدیدار شده است.

۲. **شیب یادگیری تند:** با وجود نحو آشنا و نزدیک Go، این زبان از اصول و ضرب‌المثل^{۱۴}‌های خاصی پیروی می‌کند که ممکن است در چهارچوب‌ها و الگوهای زبان‌های دیگر حضور نداشته

⁹Concurrency

¹⁰Garbage Collector

¹¹Memory Leak

¹²Syntax

¹³Performance

¹⁴Idiom

باشند. توسعه‌ی برنامه‌های شاخص و الگو، نیازمند رعایت این اصول است که این امر، اثرگذاری افراد با تجربه‌ی کم در توسعه‌ی برنامه‌های این زبان را کاهش می‌دهد.

با وجود این مسائل از بین گزینه‌های موجود، انتخاب نهایی ما زبان برنامه‌نویسی Go است.

۳-۲ استاندارد REST

در تمام برنامه‌های تحت وب، یکی از کلیدی‌ترین تصمیمات در طراحی، انتخاب پروتکل و استانداردهای مربوط به انتقال داده و اتصال برنامه به کاربر است. یکی از پرکاربردترین استانداردهای مورد استفاده در برنامه‌های تحت وب، استاندارد REST^{۱۵} است.

عملیات محدود و وجود قوانین جامع، باعث سادگی تعریف و توسعه‌ی نقطه‌های دسترسی به منابع با این استاندارد شده‌است. همچنین عدم نگهداری وضعیت بین درخواست‌ها باعث می‌شود که به سادگی بتوان برنامه‌ها را به صورت افقی نسبت به بار مقیاس کرد. با توجه به اینکه قوانین در این استاندارد کاملاً مستقل از زیرساخت و سکوی توسعه و اجرا است، استفاده از این استاندارد، امکان استفاده‌ی گسترده‌ی بسیار وسیعی از کاربران از خدمات را فراهم می‌آورد.^[۴]

همچنین زبان Go به صورت طبیعی از این استانداردها پیروی می‌کند و کتابخانه و چهارچوب‌های متعددی از جمله چهارچوب Echo برای این منظور در جامعه‌ی متن‌باز این زبان، یافت می‌شود.

۴-۲ پایگاه ذخیره داده

برنامه‌ی ما نیازمند ذخیره‌سازی طیف گسترده‌ای از اطلاعات است. این اطلاعات شامل تنظیمات و اطلاعات مورد نیاز هر بخش از سامانه، رخدادها و وقایع رخ داده در سامانه و منابع و مدل‌های مورد استفاده‌ی کاربران می‌شود. برای ذخیره‌سازی این اطلاعات، انتخاب‌های متعددی برای پایگاه داده داریم که در این پروژه بسته به ماهیت داده و نوع وابستگی برنامه به آن، از دو دسته‌ی کلی پایگاه‌های داده رابطه‌ای و غیر رابطه‌ای استفاده می‌کنیم.

¹⁵Representational State Transfer

۱-۴-۲ پایگاه داده رابطه‌ای

پایگاه داده‌های رابطه‌ای، به دسته‌ای از پایگاه‌های داده گفته می‌شود که بر مبنای زبان پرسمان ساختاریافته (SQL)^{۱۶} تعریف شده‌اند. در این پایگاه‌های داده، اطلاعات در جداولی با روابط تعریف شده، سازماندهی می‌شوند و پرسمان‌ها را می‌توان با استفاده از SQL برای بازیابی داده‌های خاص ایجاد کرد. نمونه‌هایی از پایگاه داده‌های SQL عبارتند از MySQL، Oracle و Microsoft SQL Server. پایگاه‌های داده‌ی SQL برای برنامه‌هایی که نیاز به تراکنش‌های پیچیده دارند و شامل مقادیر زیادی از داده‌های ساختاریافته هستند؛ مانند سیستم‌های مالی، سامانه‌های مدیریت کاربران و تعریف منابع با قابلیت تغییر مکرر مناسب هستند.

به طور کلی، اطلاعات ساختاریافته‌ای را که می‌توان در جداول با ستون‌های ثابت تعریف کرد، در این پایگاه داده ذخیره می‌کنیم. در این پروژه، ما از پایگاه داده‌ی PostgreSQL که یکی از معروف‌ترین پایگاه داده‌های رابطه‌ای متن‌باز است استفاده می‌کنیم.

۲-۴-۲ پایگاه داده غیر رابطه‌ای

در مقابل پایگاه داده‌های رابطه‌ای، پایگاه داده‌های غیر رابطه‌ای (NoSQL)^{۱۷} تعریف می‌شوند. این دسته از پایگاه‌های داده به گونه‌ای طراحی شده‌اند که بتوانند حجم بسیار زیادی از اطلاعات نیمه ساختاریافته^{۱۸} را پردازش کنند. این اطلاعات همانگونه که از مفهومی برداشت می‌شود ساختار ثابت و جدول مانند ندارد، بلکه حالت‌های متنوعی از جمله کلید-مقدار، سند پایه، گراف پایه و ستون پایه را شامل می‌شود [۱۲].

در این پروژه ما رخدادهای سامانه که ساختار یکتایی ندارند و همچنین از حجم بسیار بالایی برخوردار هستند را در پایگاه داده غیر رابطه‌ای ذخیره می‌کنیم. ابزاری که برای این منظور استفاده می‌کنیم پایگاه داده‌ی MongoDB است که یک پایگاه داده‌ی متن‌باز است.

^{۱۶}Structured Query Language

^{۱۷}Not Only SQL

^{۱۸}Semi Structured Data

۵-۲ معماری میکروسرویس

معماری میکروسرویس^{۱۹} یک الگوی طراحی^{۲۰} محبوب است که در توسعه نرم‌افزارهای مدرن برای ایجاد برنامه‌های کاربردی مقیاس‌پذیر، قابل نگهداری و انعطاف‌پذیر استفاده می‌شود. این معماری بر اساس ایده‌ی تجزیه‌ی یک سیستم نرم‌افزاری پیچیده به سرویس‌های کوچکتر و مستقل است که می‌توانند به طور مستقل، توسعه یافته، استقرار یابند و مدیریت شوند. این رویکرد چندین مزیت از جمله بهبود مقیاس‌پذیری، افزایش تحمل خطا و سرعت توسعه را ارائه می‌دهد.

میکروسرویس مبتنی بر مفهوم معماری سرویس‌گرا (SOA)^{۲۱} است که شامل تجزیه‌ی یک سیستم نرم‌افزاری پیچیده به اجزای کوچکتر و مستقل است. با این حال، معماری میکروسرویس، این مفهوم را با تعریف هر مؤلفه به عنوان یک سرویس جداگانه که برای انجام یک عملکرد واحد طراحی شده است، یک قدم جلوتر می‌برد. این رویکرد به درجه بسیار بالاتری از انعطاف‌پذیری منجر می‌شود، زیرا هر سرویس می‌تواند مستقل از سایر سرویس‌ها مدیریت و دچار دخل و تصرف شود.

بخشی از مزایای این معماری در برنامه‌های داده‌محور^{۲۲} و رخدادمحور^{۲۳} در زیر توضیح داده شده [۵][۶]:

- **سرعت توسعه نرم‌افزار:** با توجه به مستقل بودن واحدهای تعریف‌شده‌ی برنامه در این معماری، تیم‌ها و افراد مختلف می‌توانند مستقل و موازی بر توسعه سامانه کار کنند. این امر باعث افزایش قابل توجه سرعت و چابکی توسعه برنامه‌ها می‌شود. همچنین با توجه به تعریف روابط میان سرویس‌ها از قبل، اعمال و اجرای تغییرات درونی برنامه‌ها بسیار راحت‌تر و سریع‌تر انجام می‌شود.
- **مقیاس‌پذیری:** به دلیل جدا و منزوی بودن سرویس‌ها در این معماری، مقیاس هر سرویس را می‌توان متناسب با بار سامانه تنظیم کرد. این مورد به این معنی است که می‌توان قسمت‌های مختلف سامانه را در هر زمان کم و زیاد یا بزرگ و کوچک کرد.

- **تحمل خطا:** هرگونه خطا و اخلال در یک سرویس در معماری میکروسرویس، از قبل پیش‌بینی شده است و همواره می‌توان تمهیدات لازم جهت تحمل خطا را در سرویس‌های دیگر از پیش

¹⁹Microservice

²⁰Design Pattern

²¹Service-Oriented Architecture

²²Data Driven

²³Event Driven

آماده کرد. همچنین اخلاص در یک سرویس، فقط در همان سرویس اثرگذار است و عملکرد سایر سرویس‌های مستقل دچار اختلال نمی‌شود.

با وجود این مزایا، این معماری چالش‌ها و معایبی را نیز به دنبال دارد [۵][۶] که در ادامه به بررسی آنها می‌پردازیم.

- **پیچیدگی طراحی:** هنگام طراحی میکروسرویس‌های موجود در یک سامانه، باید تمامی روابط و هماهنگی‌های میان سرویسی را از قبل تعریف کرد. هرگونه خطا و کاستی در این مرحله، منجر به چالش‌های اساسی در مرحله اجرا و توسعه می‌شود که برطرف کردن آنها نیازمند هزینه‌ی بیشتری است. پس باید نهایت دقت را در مرحله طراحی میکروسرویس‌ها به خرج داد.

- **زیرساخت:** اجرا و پیاده‌سازی میکروسرویس‌ها نیازمند پیش‌نیازها و زیرساخت‌های خاص و ابزارهای متعدد است که هزینه استفاده از این معماری را برای برنامه‌هایی با مقیاس کم و دامنه امکانات محدود، زیاد می‌کند. نیاز این معماری به تضمین زیرساخت اجرایی و شبکه‌ای از جمله این پیش‌نیازها است.

- **حفظ سازگاری داده^{۲۴}:** با گسترده شدن داده‌ها میان سرویس‌های مختلف و احتمال وجود خطا در هر قسم^{۲۵} از سامانه، تضمین سازگاری داده بدون ضمانت سلامت زیرساخت امری بسیار دشوار است.

- **سربارهای اضافی:** استفاده از سرویس‌های متعدد برای سامانه‌ها با دامنه فعالیت‌های محدود، باعث به‌وجود آمدن سربارهای کد، شبکه و محاسبات می‌شود.

در نهایت، براساس موارد مطرح شده، برای تصمیم‌گیری در مورد استفاده از معماری میکروسرویس، باید دامنه‌ی فعالیت‌ها، فشار ناشی از بار در قسمت‌های مختلف، محدودیت‌های تیم توسعه و محدودیت‌های زیرساخت سامانه را در نظر گرفت. با در نظر گرفتن این موارد، در این پروژه معماری مورد استفاده‌ی ما، معماری میکروسرویس است.

²⁴Data Consistency

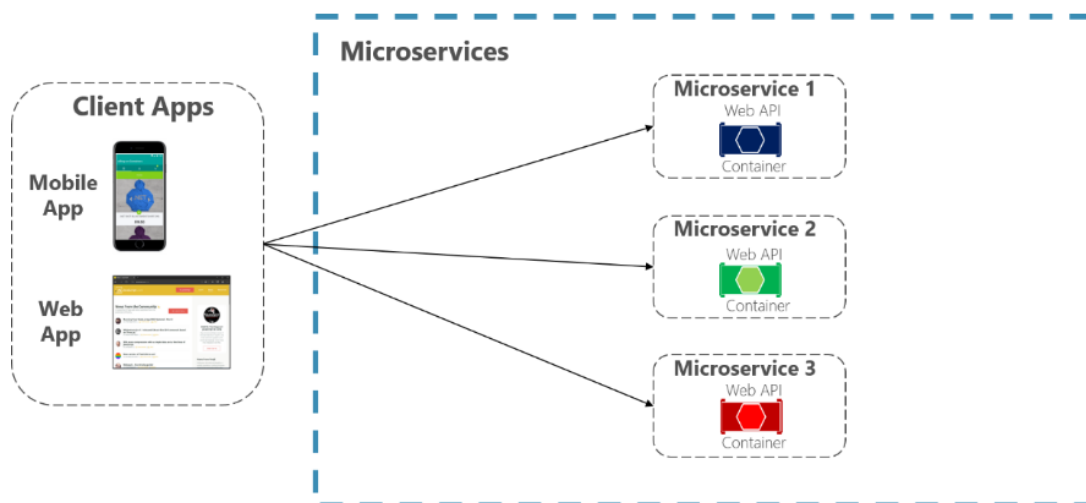
²⁵Partition

۶-۲ دروازه‌ی ورود رابط

الگوی طراحی دروازه‌ی ورود رابط^{۲۶}، یکی از الگوهای رایجی است که در کنار میکروسرویس‌ها استفاده می‌شود. در این الگو، برنامه‌ای به عنوان یک پیش‌کار^{۲۷} که وظیفه‌ی مسیریابی درخواست‌های ورودی را بر عهده دارد، قرار داده می‌شود. مدیریت بخش بزرگی از موارد امنیتی، نظارتی و سلامتی میکروسرویس‌ها بر عهده این لایه قرار می‌گیرد.

در حالت پیش‌فرض شکل ۲-۲، کاربران سامانه مستقیماً با میکروسرویس‌ها در ارتباط هستند که این امر ملاحظات جدی امنیتی و کارایی به دنبال دارد. در این حالت، تمامی میکروسرویس‌ها باید عملیات مشترکی همچون احراز هویت، واقع‌نگاری و نظارت را پیاده‌سازی کنند.

Direct Client-To-Microservice communication Architecture



شکل ۲-۲: معماری یک سامانه میکروسرویس بدون دروازه‌ی ورود رابط [۱۰]

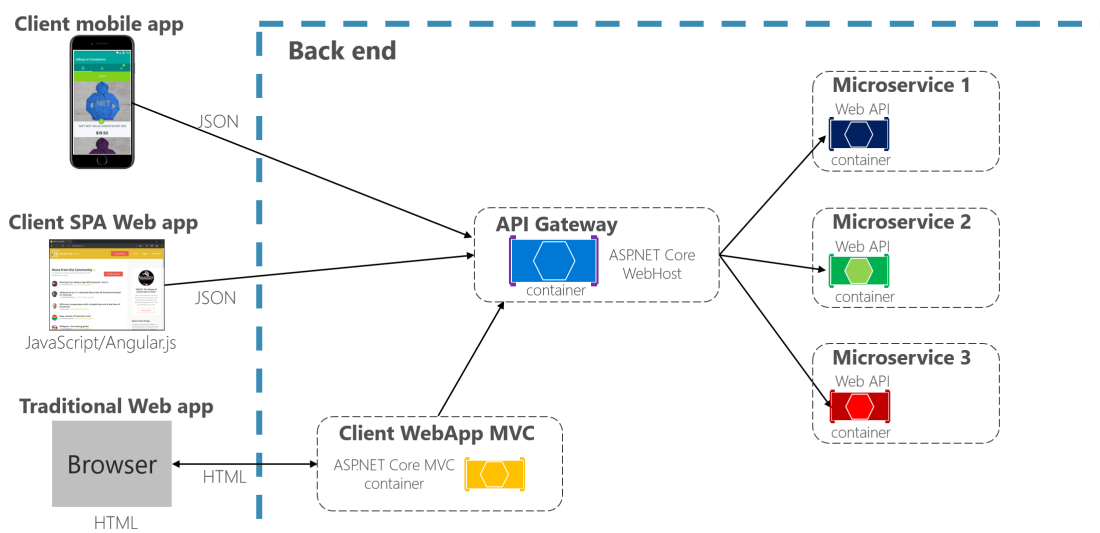
در مقابل معماری شکل ۲-۲، معماری سامانه در صورت استفاده از یک دروازه‌ی ورود رابط، مانند شکل ۳-۲ می‌شود. در این معماری، تعداد قابل توجهی از عملیات مشترک را می‌توان در لایه دروازه‌ی ورود انجام داد. به طور کلی، مزیت‌های استفاده از دروازه‌ی ورود رابط را می‌توان به شکل زیر بیان کرد [۱۰]:

^{۲۶}API Gateway

^{۲۷}Proxy

- **مدیریت متمرکز:** هنگامی که دروازه‌ی مکاتبه و تعامل با تمامی کاربران سامانه ثابت و مشخص باشد، مدیریت نحوه‌ی این ارتباط کاملاً مستقل از عملکرد درونی سامانه می‌شود و می‌توان نظارت و مدیریت کامل‌تری بر روی درخواست‌های کاربران و پاسخگویی به آن‌ها داشت.
- **امنیت:** با وجود یک لایه‌ی کاملاً مستقل در پیش‌روی کاربر، می‌توان مکانیزم‌های امنیتی نظیر احراز هویت و مجوزها را در کنار موارد امنیت شبکه یکجا مدیریت کرد. این گونه میکروسرویس‌ها، کاملاً درون یک شبکه منزوی و غیر قابل دسترس از بیرون تجمیع می‌شوند که خطر ریسک‌های امنیتی را به شکل قابل توجهی کاهش می‌دهد.
- **تقسیم بار:** لایه دروازه‌ی ورود می‌تواند بار ورودی را بین نسخه‌های متعدد میکروسرویس‌ها تقسیم کند و در صورت نیاز اتصال به بخش‌های خاصی از سامانه را کمتر یا زیادتر کند.
- **نظارت:** با پیاده‌سازی واحدهای نظارتی در دروازه‌ی ورود، تمامی رفتار کاربران و نحوه برخورد سامانه با آن‌ها را یکجا و به طور متمرکز در اختیار خواهیم داشت که برای مقاصد ایرادیابی و تحلیلی فواید زیادی دارد.

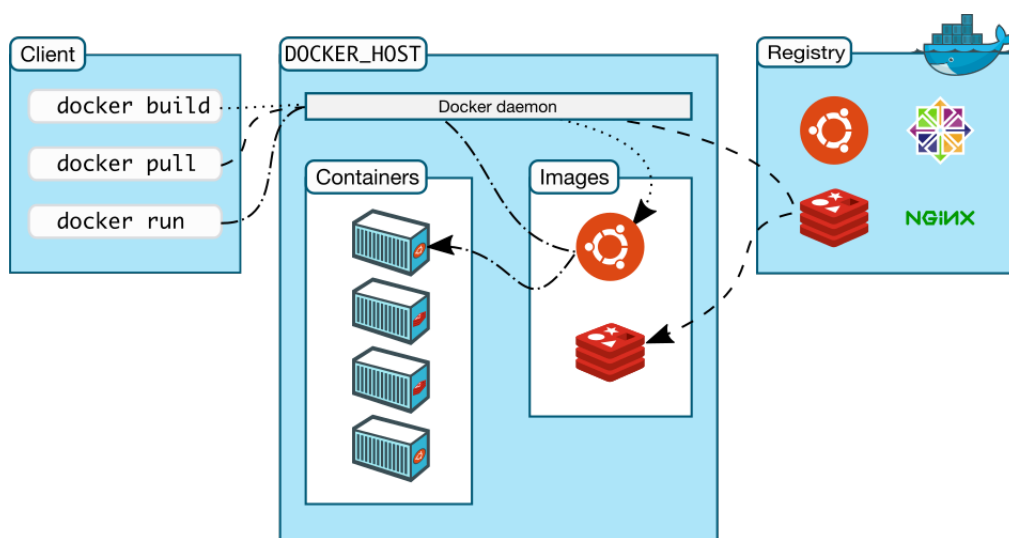
Using a single custom **API Gateway** service



شکل ۲-۳: معماری یک سامانه میکروسرویس با وجود یک دروازه‌ی ورود رابط [۱۰]

۷-۲ داکر

داکر^{۲۸} یکی از کاربردی‌ترین ابزارها برای پیاده‌سازی معماری میکروسرویس است. این ابزار که خود از چندین بخش تشکیل شده، امکان بسته‌بندی برنامه‌ها در واحد کانتینر^{۲۹} را فراهم می‌کند و کاربران می‌توانند این کانتینرها را در یک موتور کانتینر^{۳۰} مثل موتور داکر^{۳۱} اجرا کنند. با انجام این کار، کانتینرها به صورت مستقل از یکدیگر در یک محیط منزوی اجرا می‌شوند. فواید این مدل اجرا، شامل مقیاس پذیری راحت، قابل حمل بودن واحدهای اجرایی برنامه، سازگاری و انعطاف پذیری نسبت به محیط اجرا و ابزارها است. معماری کلی داکر و فرایند عملکرد این ابزار در شکل ۲-۴ مشخص شده است. کاربران با استفاده از برنامه docker با سرویس docker daemon که همواره در پس‌زمینه در حال اجرا است، در تعامل خواهند بود. این برنامه سپس تصاویر^{۳۲} را از مخزن محلی و یا مرکزی دریافت کرده و در قالب کانتینرهای موتور داکر اجرا می‌کند.



شکل ۲-۴: معماری داکر

تفاوت کانتینرهای داکر با ماشین‌های مجازی که در گذشته به همین منظور استفاده می‌شدند در شکل ۲-۵ قرار گرفته. برخلاف ماشین مجازی، کانتینرها توسط موتور کانتینر (در این شکل موتور داکر)

²⁸ Docker

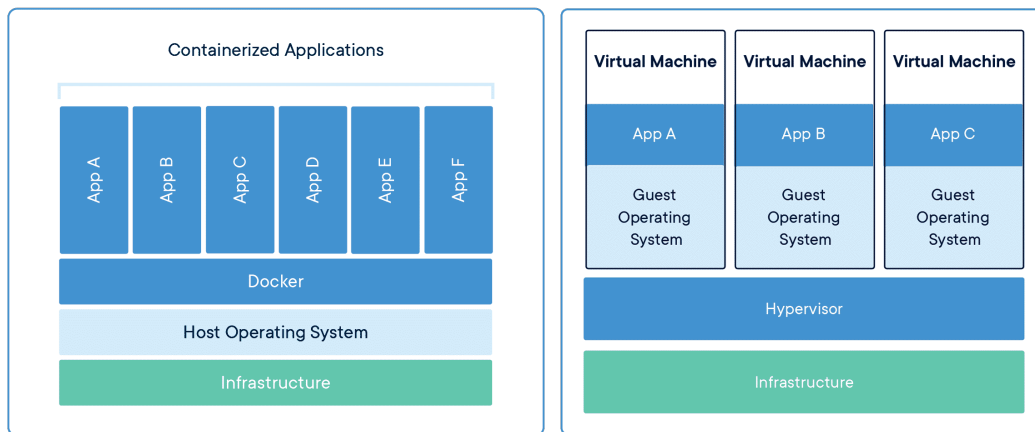
²⁹ Container

³⁰ Container Engine

³¹ Docker Engine

³² Images

بر روی سیستم عامل میزبان اجرا می‌شوند. این مدل اجرا، باعث از بین رفتن سربارهای مجازی سازی دستورات و سخت افزار می‌شود.



شکل ۲-۵: لایه‌های کانتینر داکر

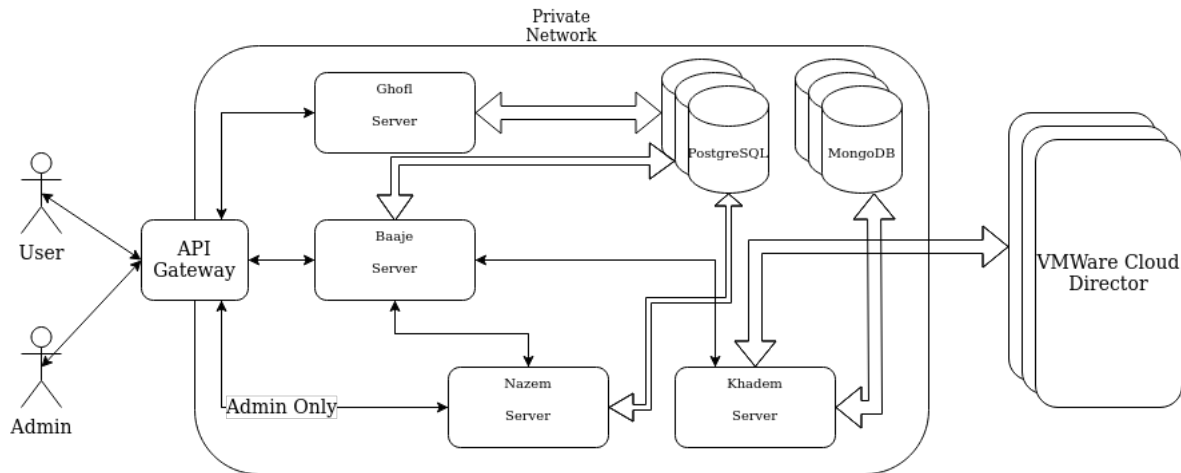
۸-۲ نتیجه گیری

در این پروژه، ما به عنوان زیرساخت ارائه خدمات IaaS از سرویس VMWare Cloud Director بهره گرفتیم. برای سرویس‌های مورد نیاز برای توسعه خدمات، از زبان برنامه‌نویسی Go و از چهارچوب‌ها و کتابخانه‌های این زبان استفاده کردیم. رابط‌های سامانه با کاربران بیرون و تعاملات درونی سامانه از استاندارد REST پیروی می‌کنند و کتابخانه Echo در زبان برنامه‌نویسی Go برای پیاده‌سازی این موضوع به کار گرفته شده‌است. برای ذخیره داده از فناوری‌های پایگاه داده رابطه‌ای و غیر رابطه‌ای استفاده کردیم. راه اندازی پایگاه داده رابطه‌ای با ابزار PostgreSQL است و برای پایگاه داده غیر رابطه‌ای از ابزار MongoDB استفاده کرده‌ایم.

پیاده‌سازی سرویس‌ها در قالب معماری میکروسرویس انجام شد که تمامی قسمت‌های سامانه در قالب تصاویر داکر قرار گرفتند. این سرویس‌ها داخل یک شبکه داخلی پشت یک دروازه‌ی ورود رابط جای گرفتند که این دروازه‌ی ورود رابط، وظیفه‌های نظارت، احراز هویت و ثبت وقایع را برعهده دارد.

فصل سوم

طراحی و پیاده‌سازی سیستم



شکل ۳-۱: معماری کلی سامانه

در این فصل، به مراحل که برای پیاده‌سازی این سیستم طی شده‌است، پرداخته شده‌است.

۳-۱ طراحی و معماری سیستم

با توجه به نیازمندی‌های مطرح شده برای خدمات سامانه، در ابتدا باید دامنه‌ی فعالیت‌های بخش‌های مختلف سامانه را مشخص کنیم. این تصمیم‌گیری باید به گونه‌ای باشد که بخش‌ها، کمترین وابستگی و جفت‌شدگی^۱ را داشته باشند.

با توجه به استقلال نیازمندی‌ها و عملکردهای ذکر شده برای سامانه، معماری کلی این سامانه، معماری میکروسرویس است. در این پیاده‌سازی، هر نیازمندی در یک سرویس پیاده‌سازی شده است، یک سرویس جهت انجام امور احراز هویت، یک سرویس برای تعامل با کاربران و تحویل درخواست‌های آنان، یک سرویس جهت تعامل با زیرساخت ابری جهت اجرای دستورات و در نهایت یک سرویس جهت امور نظارتی و مدیریتی تعریف شده که همه این سرویس‌ها در یک شبکه‌ی خصوصی و پشت سر یک دروازه‌ی ورود رابط قرار گرفته. معماری کلی سامانه در شکل ۳-۱ مشخص شده است. در ادامه‌ی این فصل جزئیات هر بخش از این معماری را دقیق‌تر بررسی می‌کنیم.

^۱Coupling

۲-۳ میکروسرویس‌ها

کل سامانه از چهار میکروسرویس تشکیل شده: قفل، ناظم، خادم و باجه. هر میکروسرویس، مخصوص رسیدگی به امور بخشی از سامانه است. این میکروسرویس‌ها در قالب معماری کد تک مخزنه^۲ پیاده‌سازی شده‌اند و دارای اشتراک‌های زیادی در کدهای پایه هستند.

۱-۲-۳ جزئیات فنی مشترک

در این بخش قصد داریم که این موارد مشترک را مطرح کنیم و سپس به بررسی جزئیات اختصاصی هر سرویس بپردازیم.

این موارد شامل:

- خدمت‌گزار وب
- برنامه‌ی تحت خط فرمان
- مدیریت تنظیمات
- تعامل با پایگاه داده و مدیریت مدل‌ها
- ساختار کد

می‌شود که در ادامه‌ی این بخش به شرح جزئیات هریک می‌پردازیم.

اجرای یک خدمت‌گزار وب^۳ توسط چهارچوب Echo در زبان Go انجام می‌شود. نحوه عملکرد این چهارچوب به این شکل است که در ابتدا قوانین مربوط به مسیریاب^۴ تنظیم می‌شود، سپس برای هر مقصد^۵، یک رسیدگی‌کننده^۶ تعریف می‌کنیم. به عنوان مثال برای عملیات ورود کاربر به سامانه، برای مسیر `/api/login` یک رسیدگی‌کننده تعریف می‌کنیم که عملیات لازم جهت ورود کاربر را اجرا می‌کند. این عملیات در این مثال شامل چک کردن ورودی درخواست، اتصال به پایگاه داده، چک کردن صحت اطلاعات فرستاده شده و ارسال یک کلید ورود برای کاربر است که همگی در قالب یک تابع به عنوان

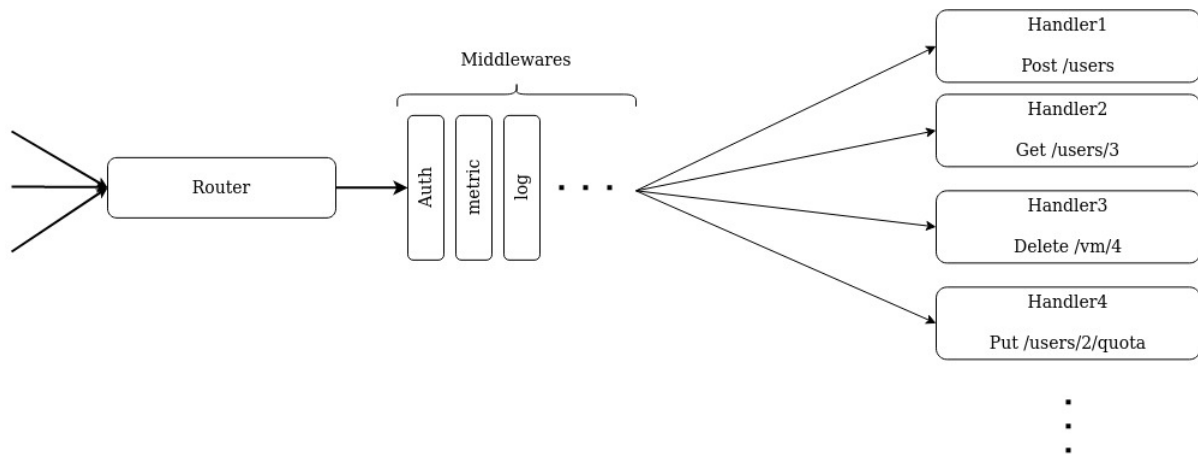
^۲Mono Repo

^۳Web Server

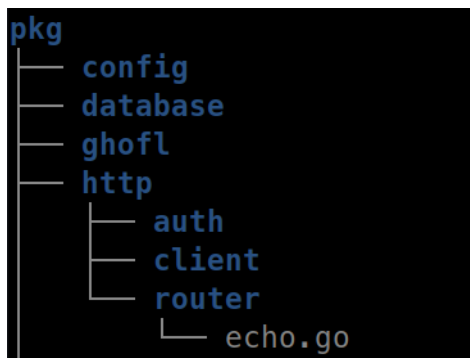
^۴Router

^۵Endpoint

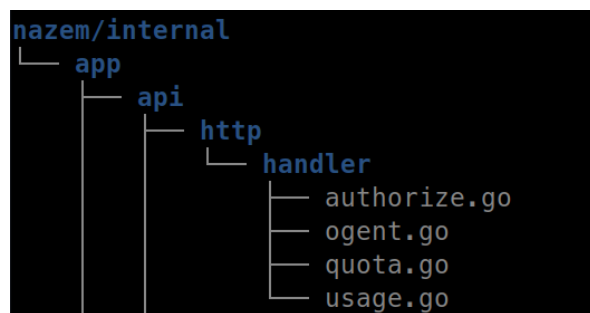
^۶Handler



شکل ۳-۲: عملکرد چهارچوب Echo



شکل ۳-۴: پوشه‌بندی مسیر یاب Echo

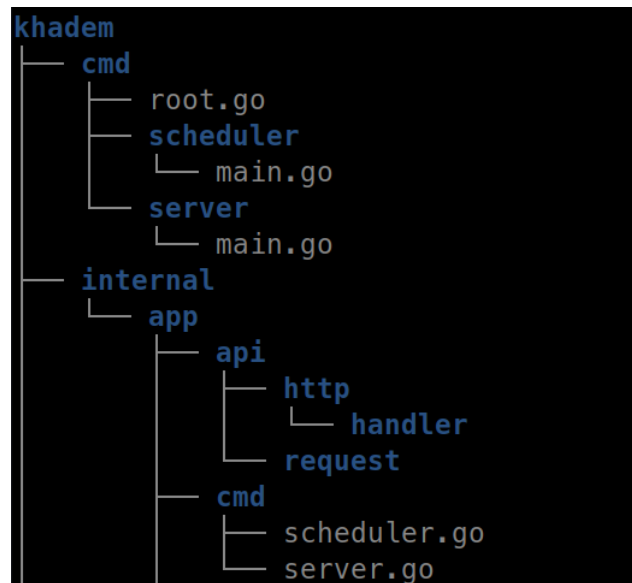


شکل ۳-۳: پوشه‌بندی توابع رسیدگی کننده Echo

رسیدگی کننده‌ی این مقصد تعریف می‌شوند. همچنین در تمامی خدمت‌گزارهای این سامانه، کاربران بایستی هویت خود را از طریق سربرگ‌های اجباری از پیش تعیین شده مشخص کنند و یک احراز هویت با کلید ثابت انجام دهند. این امر جهت بالا بردن امنیت دوچندان سامانه تعبیه شده‌است. در ساختار کد این پروژه، ثبت این مقصدها به همراه توابع رسیدگی کننده در بسته `api/http/handler` انجام می‌شود. جهت ثبت یک بسته جدید فقط کافیست که مشخصات مقصد و تابع رسیدگی کننده در فایل داخلی این بسته نوشته شود و با تابع `RegisterEndpoints` مقصد مورد نظر داخل مسیر یاب Echo ثبت شود. معماری کلی عملکرد Echo در شکل ۳-۲ و پوشه‌بندی موارد گفته شده در شکل ۳-۴ و ۳-۳ توضیح داده شده‌است.

ایجاد برنامه‌های تحت خط فرمان^۷ توسط چهارچوب Cobra پیاده‌سازی شده‌است. این چهارچوب به

^۷Command Line Application



شکل ۳-۵: ساختار پوشه‌بندی برنامه‌های خط فرمان در پروژه خادم

برنامه‌نویسان این اختیار را می‌دهد که برای برنامه‌های خود یک رابط خط فرمان^۸ ایجاد کنند. با این کار، برنامه‌نویس می‌تواند با کدهای نوشته شده برای پروژه، چندین فرمان قابل اجرا ایجاد کند. مزیت این کار در سناریوهایی که برنامه‌ی نوشته شده نیاز به اجرای چند فرمان مختلف به طور همزمان در پس‌زمینه داشته باشد مشخص می‌شود.

برنامه‌های خط فرمان طبق پوشه‌بندی شکل ۳-۵ در پروژه‌ها قرار گرفته‌اند.

مدیریت تنظیمات برنامه توسط چهارچوب Viper انجام می‌شود. این چهارچوب، به کاربران این اجازه را می‌دهد که تنظیمات را در هریک از ساختارهای معروف JSON، YAML و یا TOML بنویسد و با قراردادن آن در یکی از آدرس‌های پیشفرض تنظیمات، آن‌ها را بر روی برنامه اعمال کند. ساختار انتخابی ما برای تنظیمات به صورت پیش‌فرض، ساختار YAML است که در یک فایل هم‌اسم پروژه، در پوشه ریشه پروژه قرار گرفته.

تنظیمات برنامه می‌تواند در یکی از آدرس‌های زیر باشد.

۱. ./<appname>.yaml

۲. /etc/<appname>/<appname>.yaml

۳. /.config/<appname>.yaml

^۸Command Line Interface

تعامل و ارتباطات با پایگاه داده در اپلیکیشن‌ها با دو چهارچوب gorm و ent انجام می‌شود. مزیت چهارچوب gorm، سادگی عملکرد و گستردگی پشتیبانی و جامعه متن‌باز آن است. هر دو چهارچوب به عنوان یک ORM^۹ تعامل با پایگاه داده را بسیار ساده‌تر می‌کنند. به گونه‌ای که برای ارتباط با پایگاه داده به هیچ‌عنوان دغدغه‌ی نحوه تعریف روابط و ذخیره‌سازی اطلاعات را نداریم و فقط با مدل‌های تعریف شده‌ی داخل برنامه تعامل برقرار می‌کنیم. در کد این پروژه، ارتباطات با پایگاه داده جهت دریافت و ثبت اطلاعات در یک لایه‌ی کاملاً مجزا با استفاده از الگوی شیئی دسترسی داده^{۱۰} پیاده‌سازی شده است. این الگوی طراحی به نویسندگان کد این امکان را می‌دهد، که توابع و نیازمندی‌های دسترسی به داده ذخیره‌شده را در یک لایه‌ی کاملاً جداگانه تعریف کنند و لایه‌های دخل و تصرف داده را در کنار این لایه توسعه دهند [۷].

با توجه به این که چهارچوب ent توسط تولید کد رابط‌های مورد نیاز جهت تعامل با پایگاه داده را فراهم می‌کند، تمامی ریسک‌ها و خطرهای امنیتی مربوط به پایگاه داده به علت Type Safe بودن این رابط قابل کنترل می‌شود. این مورد یکی از مزیت‌های بسیار بزرگ استفاده از این چهارچوب است. تمامی کدهای مربوط به تعامل با پایگاه داده مطابق شکل ۳-۶، در پوشه ent قرار گرفته است. جزئیات مهم این پوشه‌بندی به شرح زیر می‌باشد.

- **schema**: این پوشه شامل تعاریف ساختار مدل‌ها در پایگاه داده است.
- **entc.go**: در این فایل، قوانین تولید و تفسیر API تعامل با پایگاه داده قرار داده شده است.
- **generate.go**: این فایل، نحوه تولید فایل‌های خودکار تولیدشده را مشخص می‌کند.
- **openapi.json**: این فایل، ساختار و مشخصات API تولیدشده را بر اساس استاندارد OpenAPI مشخص می‌کند.

با توجه به استفاده از الگوی تک‌مخزنه در نگهداری کدهای پروژه، تا حد ممکن کدها و منابع مشترک پروژه در پوشه pkg نگهداری می‌شود. ساختار این پوشه در شکل ۳-۷ مشخص شده، توضیحات پوشه‌های موجود در این ساختار به شرح زیر می‌باشد.

^۹Object-Relation Mapping

^{۱۰}Data Access Object

```

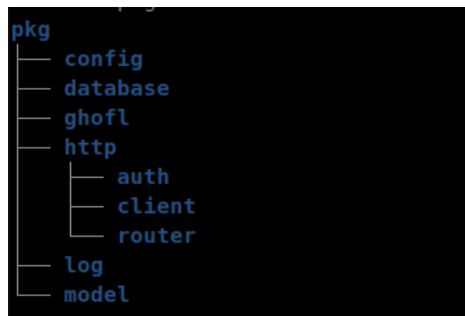
nazem/internal/app/ent
├── credit
│   └── credit.go
├── credit.go
├── entc.go
├── enttest
├── hook
├── migrate
├── ogent
├── openapi.json
├── predicate
├── price
│   └── price.go
├── price.go
├── quota
│   └── quota.go
├── quota.go
├── runtime
├── schema
│   ├── credit.go
│   ├── price.go
│   ├── quota.go
│   └── usage.go
├── usage
│   └── usage.go
└── usage.go

```

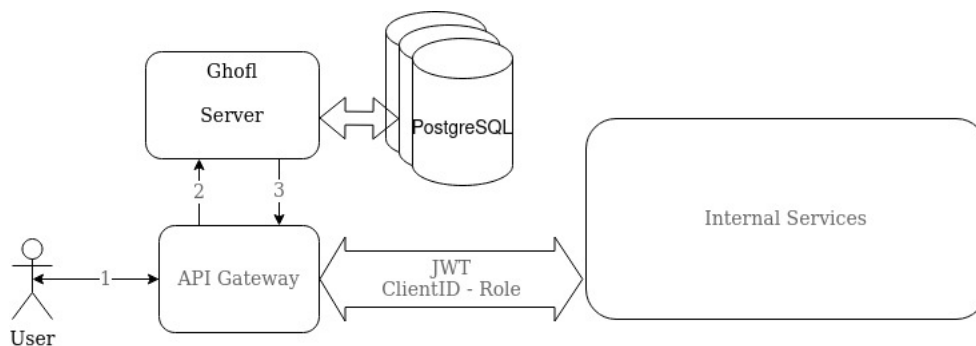
شکل ۳-۶: ساختار پوشه‌بندی چهارچوب ent

- **config**: نحوه خوانده شدن تنظیمات و قوانین مربوط به پردازش تنظیمات که بین پروژه‌ها مشترک است در فایل‌های این پوشه نوشته شده‌است.
- **database**: کدهای مربوط به نحوه اتصال به پایگاه داده و مکانیزم‌های تلاش مجدد در فایل‌های این پوشه قرار داده شده، در صورت نیاز به پشتیبانی از پایگاه داده جدید، فقط کافست نحوه اتصال به پایگاه داده را داخل این پوشه مشخص کنیم.
- **http**: میان‌افزارهای مشترک، تنظیمات مسیر یاب اولیه برنامه، به همراه فایل‌های کاربر^{۱۱} های برنامه‌ها در این پوشه تعبیه شده‌است.
- **log**: تنظیمات مربوط به راه‌اندازی ثبت کننده وقایع در این پوشه انجام می‌شود.
- **model**: مدل‌های مشترک نظیر ماشین مجازی یا تنظیمات آن در هر یک داخل فایلی داخل این پوشه قرار داده می‌شود.

^{۱۱}Client



شکل ۳-۷: ساختار پوشه‌بندی pkg



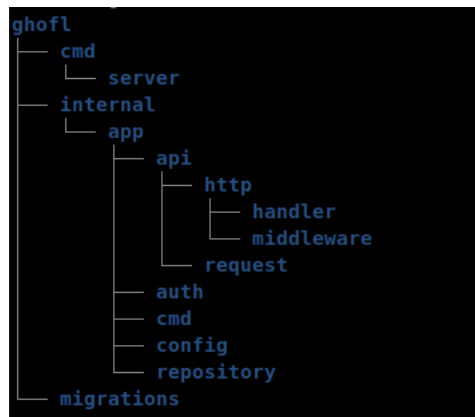
شکل ۳-۸: عملکرد سرویس قفل

۲-۲-۳ قفل

میکروسرویس مخصوص احراز هویت و تعیین سطح دسترسی در این سامانه، قفل نام دارد. دلیل نام‌گذاری این میکروسرویس به این اسم، شباهت عملکرد قفل و این سامانه است که هر دو وظیفه کنترل دسترسی به منابع پشت قفل را دارند.

در شکل ۳-۸، کاربرد سرویس قفل در سامانه مشخص شده‌است. تمامی درخواست‌های ورودی به سامانه در ابتدا به سرویس قفل فرستاده می‌شوند و احراز هویت آن‌ها انجام می‌شود. این درخواست‌ها یا مانند درخواست ورود و ثبت‌نام ماهیت احراز هویت دارند و یا سایر درخواست‌های کاربری و مدیریتی هستند. دسته اول درخواست‌ها مستقیماً به قفل فرستاده می‌شوند. دسته دوم درخواست‌ها نیز هنگام رسیدن به دروازه ورود، ابتدا به قفل فرستاده می‌شوند که سرایند احراز هویت JWT^{۱۲} آنها ارزیابی شود. پس از این ارزیابی، در صورت موفقیت آمیز بودن، درخواست به سرویس‌های بالادستی فرستاده شده و

^{۱۲}JSON Web Token



شکل ۳-۹: پوشه بندی سرویس قفل

در صورت ورود ناموفق کاربر با خطا مواجه خواهد شد.

پوشه بندی این پروژه در شکل ۳-۹ مشخص شده است. در این پوشه‌بندی، پوشه `auth` مربوط به منطق‌های لازم جهت پیاده‌سازی احراز هویت است.

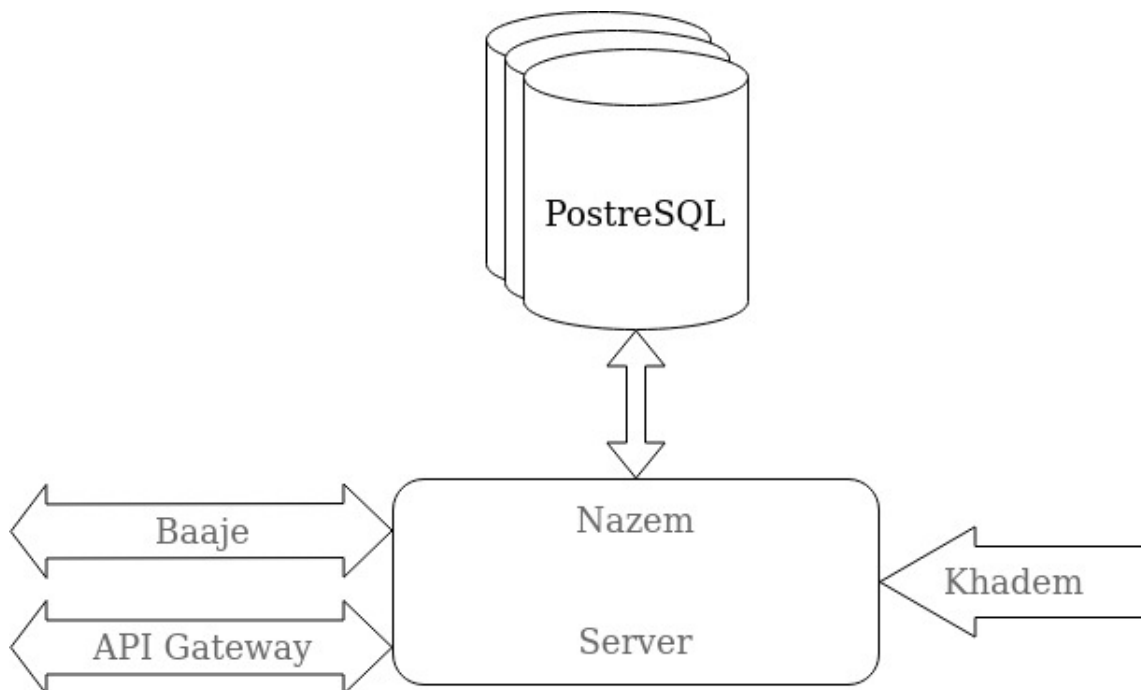
۳-۲-۳ ناظم

میکروسرویس ناظم وظیفه نظارت و مدیریت امور مالی و گزارشات مصرف کاربران را برعهده دارد. این میکروسرویس یکی از کلیدی‌ترین سرویس‌های سامانه است که در تعامل زیاد با پایگاه داده است. معماری کلی این سرویس در شکل ۳-۱۰ مشخص شده است.

ناظم در تعامل با **باجه** در جایگاه یک اعتبارسنج^{۱۳} درخواست عمل می‌کند. به این صورت که تمامی درخواست‌های مربوط به دخل و تصرف در منابع باید ابتدا از این سامانه تاییدیه بگیرند. گرفتن این تاییدیه به معنی اعتبار کافی و نبودن محدودیت بر روی کاربر برای منابع درخواستی است. هرگونه ایراد و خطا در این سرویس منجر توقف عملکرد کل سامانه است که این امر یک موضوع پیش‌بینی شده و قابل قبول است. کدهای مربوط به این اعتبار سنجی داخل بسته `validation` قرار گرفته و برای توسعه و تغییر این قوانین باید این بسته دچار تغییر شود.

در تعامل با دروازه‌ی ورود، درخواست‌های مدیر سامانه جهت تغییر محدودیت‌های کاربران یا گزارش گیری از وضعیت آنان را دریافت می‌کند و پاسخ مناسب را با توجه به اطلاعات ثبت شده در پایگاه داده می‌دهد.

¹³Validator



شکل ۳-۱۰: عملکرد سرویس ناظم

این سرویس برای درخواست‌های دریافتی از سرویس خادم، گزارش مصرف منابع را برای منابع دریافت می‌کند و با توجه به قوانین و قیمت گذاری‌های ثبت‌شده، اعتبار کاربر را تحت تاثیر قرار می‌دهد. پوشه‌بندی بسته‌ها در این پروژه در شکل ۳-۱۱ مشخص شده‌است. در این پوشه‌بندی، بسته‌ی billing شامل منطق‌های لازم جهت صحت‌سنجی درخواست‌های تغییر منابع می‌باشد که داخل توابع رسیدگی‌کننده به همین‌نام استفاده شده

بسته‌ی مهم دیگر، بسته usage می‌باشد که قوانین مربوط به نحوه ثبت و بروزرسانی مصرف منابع کاربر در آن تعریف و پیاده‌سازی شده‌است.

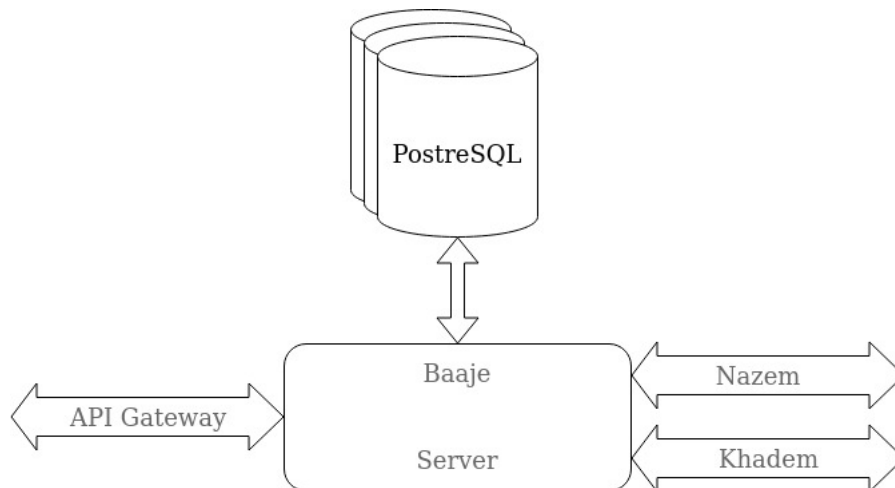
۴-۲-۳ باجه

این سرویس دروازه ارتباطی کاربران عادی سامانه است. تمامی درخواست‌ها و عملیات ممکن برای کاربر در این برنامه قرار گرفته. معماری این برنامه در شکل ۳-۱۲ مشخص شده است. همانطور که در تصویر مشخص شده، این سرویس مستقیماً از طریق دروازه‌ی ورود با کاربران در ارتباط است و برای انجام امور مربوط به کاربران با سرویس‌های خادم و ناظم به صورت داخلی در ارتباط است.

این سرویس اطلاعات مربوط به منابع تعریف شده برای کاربر را داخل پایگاه داده ذخیره کرده و در



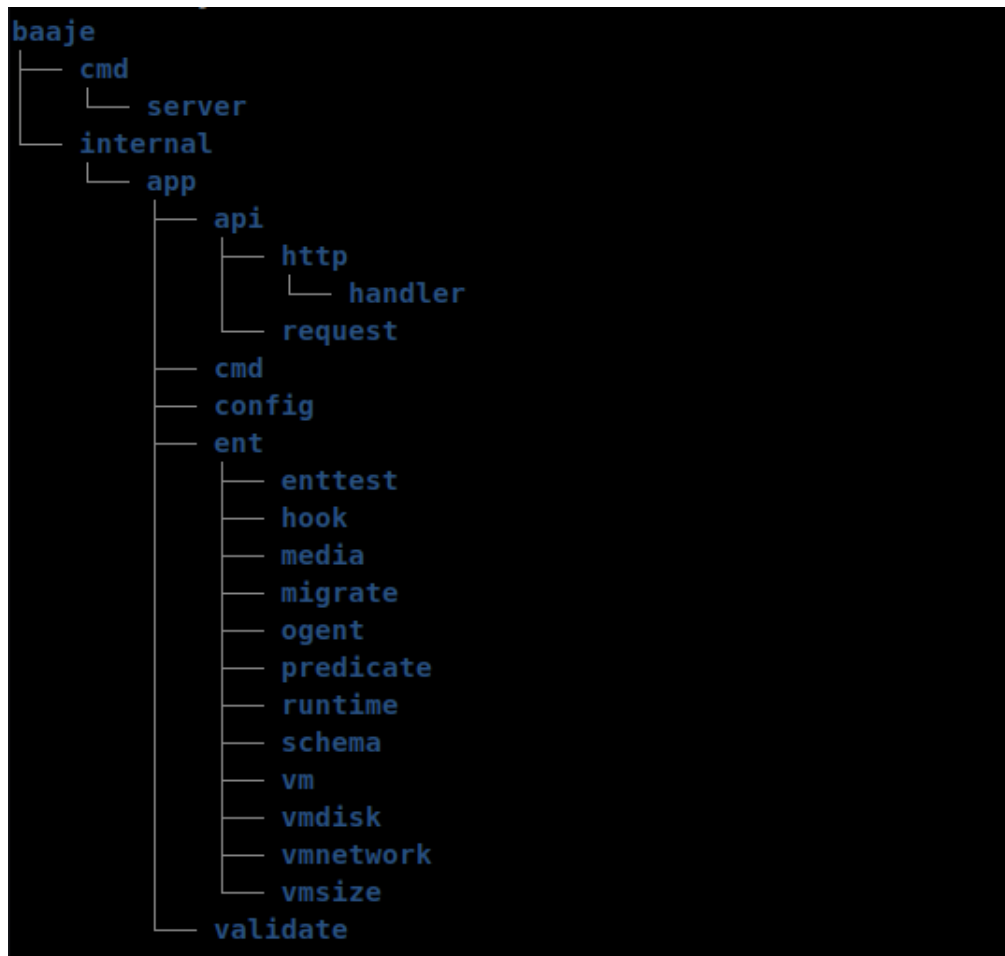
شکل ۳-۱۱: پوشه بندی سرویس ناظم



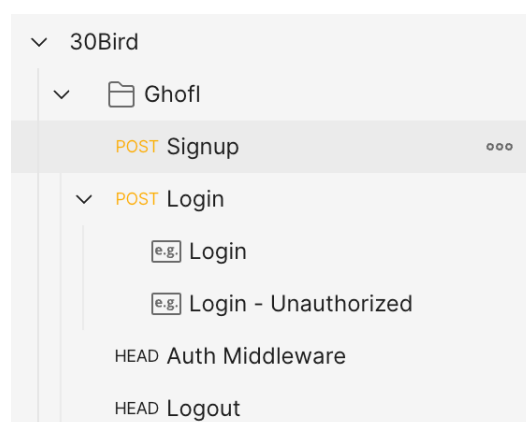
شکل ۳-۱۲: عملکرد سرویس باجه

پردازش درخواست‌ها از این اطلاعات استفاده می‌کند. منابع تعریف شده داخل پایگاه داده شده داخل پیوست این گزارش موجود است.

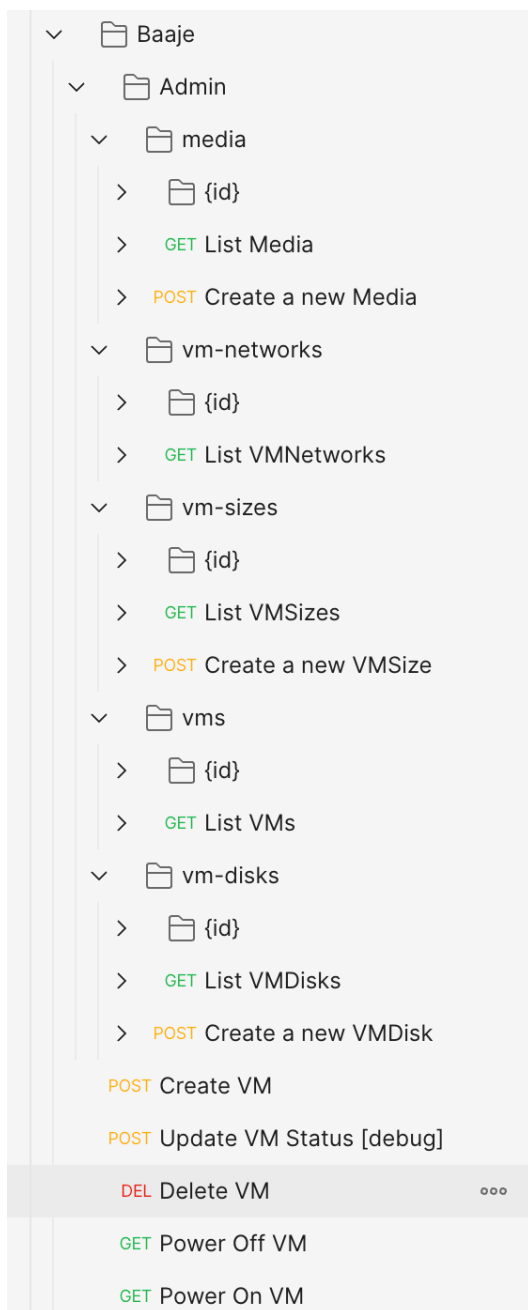
در مواجهه با درخواست‌های مربوط به تغییر منابع مانند ساخت یا ویرایش ماشین مجازی، ابتدا اعتبارسنجی درخواست از طریق سرویس ناظم انجام می‌شود و در صورت موفقیت‌آمیز بودن این اعتبارسنجی، درخواست جهت اجرا به سرویس خادم ارسال می‌شود. پس از رسیدن جواب از سمت سرویس خادم، بسته به خروجی سرویس خادم، نتیجه درخواست کاربر داخل پایگاه داده ذخیره می‌شود. این قابلیت‌ها توسط بسته‌بندی‌ای که در شکل ۳-۱۳ مشخص شده پیاده‌سازی شده‌اند. اکثر کدهای این سرویس داخل بسته handler قرار دارد که با بسته‌های کاربر بقیه سرویس‌ها، با آن‌ها به تعامل می‌پردازد. بسته دیگری که مختص این پروژه می‌باشد، بسته validate است که یک رابط برای سرویس ناظم است، در صورت تقسیم شدن سرویس ناظم و یا تغییر منطق صحت‌سنجی درخواست‌ها فقط باید محتوی این بسته را تغییر داد و توابع رسیدگی کننده بدون تغییر خواهند بود.



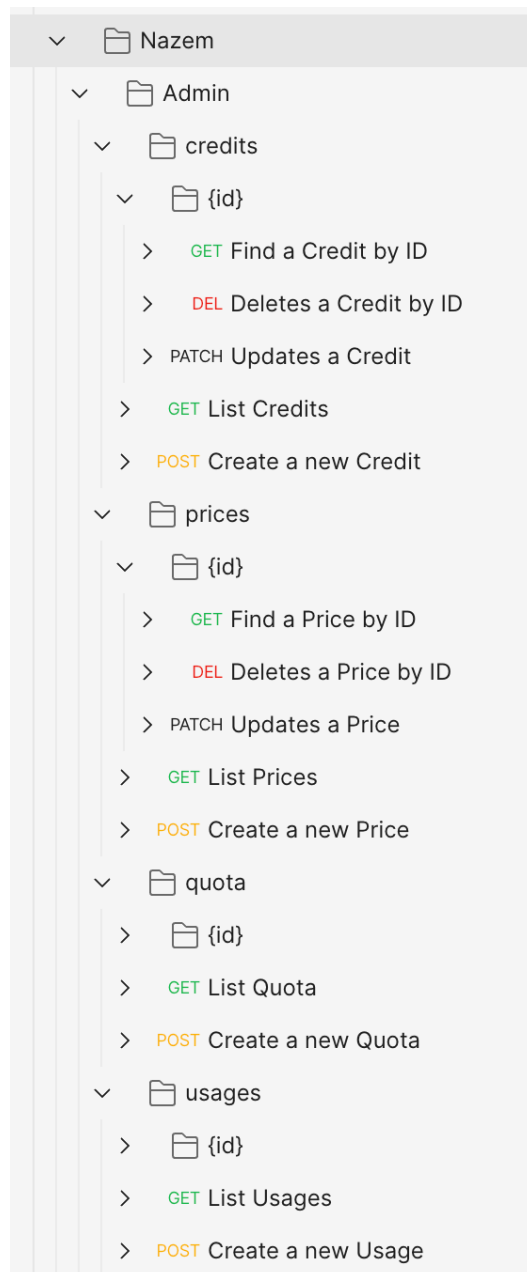
شکل ۳-۱۳: پوشه بندی سرویس باجه



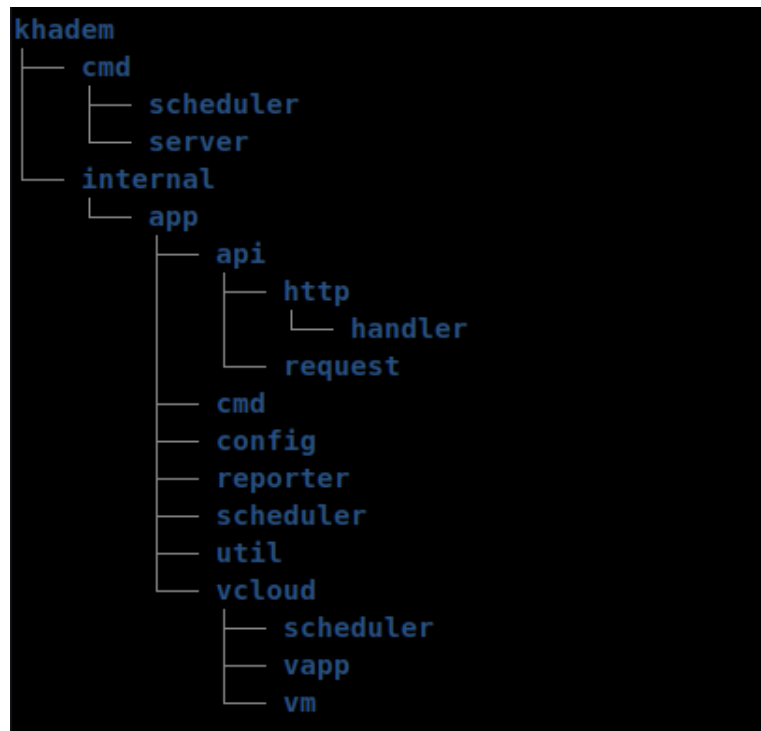
شکل ۳-۱۴: لیست Endpoint های سرویس قفل



شکل ۳-۱۶: لیست Endpoint های سرویس باجه



شکل ۳-۱۵: لیست Endpoint های سرویس ناظم



شکل ۳-۱۷: پوشه بندی سرویس خادم

۵-۲-۳ خادم

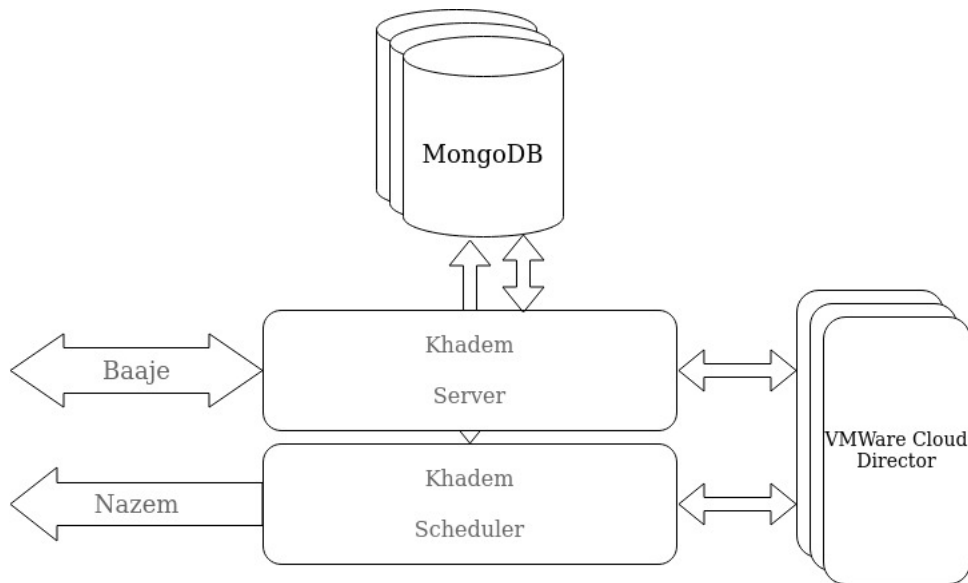
همانطور که قبلاً گفته شد، سامانه برای ارائه خدمات IaaS نیازمند تعامل با یک ارائه دهنده زیرساخت است. این ارائه دهنده در سامانه‌ها VMWare Cloud Director است، میکروسرویس مسئول جهت تعامل با این برنامه خادم است. معماری خادم از دو قسمت اصلی تشکیل شده است. **خدمت‌گزار** و **زمان‌بند**^{۱۴} دو بخش تشکیل دهنده این سرویس می‌باشند که کاملاً مستقل و جداگانه اجرا می‌شوند. وظیفه خدمت‌گزار دریافت دستورات از سرویس باجه و سپس تفسیر و اجرای آن‌ها است. معماری کلی این پروژه در شکل ۳-۱۸ مشخص شده است.

بسته‌بندی پروژه در شکل ۳-۱۷ مشخص شده است.

پایه کد این پروژه به طور کلی در بسته vcloud قرار داده شده است. این بسته شامل تمامی عملیات قابل اجرا بر روی cloud director است. در صورت نیاز به تکمیل و یا توسعه خدمات بایستی دستورات و توابع این بسته را تغییر داد. داخل این بسته از بسته توسعه نرم‌افزار (SDK^{۱۵}) رسمی VMWare

^{۱۴}Scheduler

^{۱۵}Software Development Kit



شکل ۳-۱۸: عملکرد سرویس خادم

Cloud Director استفاده شده است. البته برای کاربردهای خاص و عملیات تخصصی دقیق، ممکن است که نیاز به تعامل مستقیم با API داشته باشیم. ولی برای خدمات فعلی سامانه، تمامی امکانات مورد نیاز داخل SDK موجود است.

منطق‌های مربوط به نظارت کننده منابع که وظیفه گزارش مصرف منابع را بر عهده دارد، در بسته scheduler قرار دارد. در این بسته یک اجراشونده کار در پس زمینه فراخوانی شده و عملیات دریافت وضعیت منابع و ارسال این اطلاعات به سرویس ناظم را انجام می‌دهد.

پوشه مهم دیگر داخل پروژه، پوشه reporter است. این پوشه وظیفه اطلاع‌رسانی وضعیت نهایی درخواست‌های ارسال شده به خادم به سرویس‌های بالادستی را برعهده دارد. از نمونه‌ی این اطلاع‌رسانی‌ها، می‌توان به گزارش وضعیت ماشین مجازی ساخته شده و اطلاعات شبکه‌ای آن مانند آدرس IP آن اشاره کرد که بایستی به سرویس باجه فرستاده شود که وضعیت ماشین مجازی در پایگاه داده را بروزرسانی کند.

همچنین یک ثبت کننده وقایع داخل این سرویس تعبیه شده که تمامی درخواست‌های ارسالی به سرویس بالادستی را در یک پایگاه داده غیر رابطه‌ای ذخیره کند. این کار برای نظارت بیشتر و بازیابی از حادثه^{۱۶} احتمالی بسیار مفید است.

برنامه زمان‌بند در پس‌زمینه به صورت مستقل اجرا شده و در فواصل زمانی مشخص وضعیت منابع تعریف شده داخل Cloud Director را رصد کرده و گزارش وضعیت را به سرویس ناظم جهت رسیدگی

¹⁶Incident Recovery

به امور مالی و نظارتی ارسال می‌کند. یک محدودیت مهم این سرویس، تک نسخه ای بودن آن در زمان اجرا است. برای قابلیت چند نسخه‌ای بودن این برنامه، بایستی یک مکانیزم و الگوریتم هماهنگی میان عناصر در حال اجرا پیاده‌سازی کنیم که منابع سیستم در هر لحظه تنها توسط فقط یک نسخه رصد و گزارش شود. پیاده‌سازی این موضوع با کمک امکانات کوپرنیتز امکان پذیر است ولی بخاطر پیچیدگی‌هایی که این پیاده‌سازی به همراه دارد در این پروژه از این کار صرف نظر شده‌است.

برنامه خدمت‌گزار در پس‌زمینه اجرا می‌شود و منتظر دستورات از سمت باجه می‌شود. پس از رسیدن دستورات، بسته به نوع دستور، توابع و پیاده‌سازی‌های موجود در بسته vcloud در برنامه اجرا می‌شود. با این کار، دستورات قابل فهم توسط cloud director ارسال شده و نتیجه به صورت برخط و یا غیر برخط به کاربر گزارش می‌شود.

۳-۳ دروازه‌ی ورود رابط

پیاده‌سازی دروازه‌ی ورود رابط در این سامانه با استفاده از ابزار قدرتمند و پایدار nginx صورت گرفته. nginx یک خدمت‌گزار وب نوشته شده با زبان C است که توانایی مدیریت تعداد بسیار زیادی از درخواست‌ها در لحظه را دارد. برای استفاده از این دروازه‌ی ورود باید قوانین مربوط به مسیریابی را در فرمت مخصوص بنویسیم. از آنجایی که مقیاس کردن این گزینه به صورت افقی سخت انجام می‌شود (باید قوانین مربوط به DNS و کاربران را تغییر دهیم). بایستی منابع و ظرفیت‌های این برنامه را زیاده‌تر از سایر قسمت‌های دیگر در نظر بگیریم.

۴-۳ خطایابی

عملکرد مورد انتظار رابط‌های برنامه‌نویسی برنامه در فایل‌های Open API Specification نوشته شده، می‌توان این فایل‌ها را با استفاده از ابزار Swagger بررسی کرد. در صورتی که سامانه نتیجه‌ای غیر از نتیجه انتظار برگرداند. خطایابی با استفاده از کد وضعیت برگردانده شده به همراه پیام^{۱۷} پاسخ می‌تواند انجام شود. در صورت نیاز به اطلاعات بیشتر، برنامه‌ها خطاهای رخ داده را داخل Std Error محیط اجرایی چاپ می‌کنند. در صورت اجرا در قالب بسته‌های داکر، چک کردن این خطاها می‌تواند با دستور docker logs انجام شود. با توجه به سطوح مختلف اطلاع رسانی خطا، تنظیمات چاپ رخدادها را

¹⁷Message

می‌شود داخل فایل config تغییر داد. درجات مختلف چاپ جزئیات در لیست زیر نوشته شده‌است. در این لیست اولین عضو به معنی کمترین جزئیات و آخرین عضو به معنی بیشترین جزئیات است.

۱. panic

۲. fatal

۳. error

۴. warning

۵. info

۶. debug

۳-۵ نتیجه‌گیری

در این فصل به تشریح قسمت‌های مختلف برنامه و جزئیات پیاده‌سازی آن‌ها پرداخته شد. سامانه ما از چهار میکروسرویس که هر یک وظیفه مخصوص به خود را دارد تشکیل شد. این میکروسرویس‌ها که در قالب بسته‌های داکر اجرا شدند با رابط‌های REST به یکدیگر متصل هستند. همه این میکروسرویس‌ها در پشت یک دروازه‌ی ورود قرار گرفته و راه ارتباطی با شبکه خصوصی سامانه تنها این دروازه‌ی ورود است. اولین میکروسرویس درگیر با درخواست‌های کاربران، **قفل** هست که وظیفه احراز هویت تمامی درخواست‌های ورودی به دروازه‌ی ورود را دارد. میکروسرویس بعدی، **باجه** است که تمامی عملیات کاربران در آن تعریف شد. این میکروسرویس برای صحت سنجی درخواست‌های کاربران با میکروسرویس **ناظم** در ارتباط است و برای انجام این درخواست‌ها با میکروسرویس **خادم** ارتباط برقرار می‌کند.

فصل چهارم

بررسی و ارزیابی

در این فصل به ارزیابی‌ها و بررسی‌های انجام شده بر روی پروژه پرداخته خواهد شد.

۴-۱ تست‌های واحد

تست واحد^۱ یکی از مهم‌ترین بخش‌های ارزیابی یک برنامه است. این مدل از ارزیابی به بررسی عملکرد یک واحد از برنامه می‌پردازد. یک واحد به معنی کوچک‌ترین بخش منزوی از یک برنامه است که به صورت مستقل عمل می‌کند و ورودی و خروجی مشخصی دارد. این واحد می‌تواند بخشی از یک تابع، کل تابع و یا مجموعه‌ای از توابع باشد. از مزایای تست واحد، می‌توان به صحت سنجی عملکرد واحدها نسبت به ورودی‌های مختلف اشاره کرد که کمک بسیار شایانی به اجرای موفق می‌کند و ریسک عملکردهای دور از انتظار را بسیار کاهش می‌دهد.

در زبان برنامه‌نویسی Go، این ارزیابی‌ها در سطح بسته انجام می‌شوند. فایل‌های تست، با پسوند `test.go` در نام فایل مشخص شده و توسط دستور `go test` اجرا می‌شود. در این پروژه، ما ارزیابی‌ها را برای واحدهای مختلفی از جمله توابع رسیدگی کننده به درخواست‌ها و یا مدل‌های تعامل با پایگاه داده انجام داده‌ایم. این ارزیابی‌ها با اجرا کردن توابع با انواع مختلف ورودی، خروجی تابع را با خروجی مورد انتظار مقایسه می‌کنند و در صورت وجود تفاوت ارزیابی را با وضعیت خطا تمام می‌کنند. با گسترده کردن ورودی‌های ارزیابی و تقلید^۲ کردن نیازمندی‌ها، می‌توانیم از صحت عملکرد توابع در سناریوهای مختلف اطمینان حاصل کنیم. همچنین با استفاده از ابزارهای مختلفی که زبان Go برای این هدف در اختیار توسعه دهندگان قرار داده، همانند ابزار Coverage می‌توانیم درصد پوشش تست، یعنی تعداد خطاهای کد که این تست آن‌ها را مورد ارزیابی قرار داده پیدا کنیم و مطمئن شویم که کل واحد مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۴-۲ تست‌های ادغام

تست ادغام^۳ به معنی تست کلی سامانه و ارزیابی عملکرد چندین بخش از سامانه در کنار یکدیگر است. این تست می‌تواند در داخل خود کد و همانند تست‌های واحد در قالب فایل‌های `test.go` باشد. و هم می‌تواند توسط ابزارهای خارجی و با نسخه در حال اجرای برنامه اجرا شود. یک مثال از این مدل ارزیابی،

^۱Unit Test

^۲Mock

^۳Integration Test

اجرای فرایند ثبت نام و ورود کاربر به صورت تعاملی^۴ با سامانه است. برای این کار، ابتدا با یک درخواست اقدام به ساخت حساب کاربری می کنیم. سپس با اطلاعات استفاده شده در مرحله قبل، اقدام به ورود و دریافت کلید ورود می کنیم. سپس با ارزیابی کلید ورود متوجه عملکرد این قسمت از سامانه می شویم. با توجه به پیاده سازی رابط های ارتباطی وب در این پروژه با استاندارد Open API، تمامی مقصدهای تعریف شده. قابلیت اجرا با ورودی دلخواه توسط ابزارهای تست API نظیر Postman یا K6 را دارند. لیستی از این تست های ادغام جهت ارزیابی قابلیت های سامانه در جدول؟؟ قرار داده شده

موضوع تست	سناریو تست	نتیجه
ساخت حساب کاربری	۱. ارسال درخواست ساخت حساب کاربری و دریافت وضعیت OK ۲. ارسال مجدد درخواست ساخت حساب کاربری با همان مشخصات و دریافت وضعیت Error ۳. ارسال درخواست ورود و دریافت وضعیت OK به همراه توکن ورود	موفق
احراز هویت	۱. ارسال درخواست ساخت حساب کاربری و دریافت وضعیت OK ۲. ارسال درخواست ورود و دریافت وضعیت OK به همراه توکن ورود ۳. ارسال یک درخواست صحت سنجی توکن و دریافت وضعیت OK به همراه سربرگ های هویتی	موفق
احراز هویت مدیر	۱. ارسال درخواست ساخت حساب کاربری و دریافت وضعیت OK ۲. تغییر سطح دسترسی کاربر با استفاده از scopes در پایگاه داده ۳. ارسال درخواست ورود و دریافت وضعیت OK به همراه توکن ورود ۴. ارسال یک درخواست صحت سنجی توکن و دریافت وضعیت OK به همراه سربرگ X-User-Scopes	موفق

⁴Interactive

موفق	<p>۱. احراز هویت و دریافت توکن</p> <p>۲. ارسال درخواست خروج از حساب کاربری</p> <p>۳. اعتبارسنجی توکن دریافت شده در مرحله اول و دریافت وضعیت Error</p>	خروج کاربر
موفق	<p>۱. ساخت کاتالوگ و تصویر داخل vcloud و ثبت مقادیر media-id و catalog</p> <p>۲. ارسال درخواست ساخت تصویر به سرویس باجه با استفاده از media-id و catalog و دریافت وضعیت OK</p> <p>۳. چک کردن وضعیت تصویر ساخته شده با ارسال درخواست دریافت تصویر</p>	ساخت تصویر سیستم عامل
موفق	<p>۱. ساخت یک اندازه دیسک ذخیره سازی با ارسال درخواست به سرویس باجه ذخیره ID پس از دریافت وضعیت OK</p> <p>۲. ارسال یک درخواست ساخت اندازه ماشین مجازی با مشخصات دلخواه و ثبت مقدار slug پس از دریافت وضعیت OK</p> <p>۳. چک کردن وضعیت اندازه با ارسال درخواست دریافت اندازه و مقایسه با اطلاعات ارسالی هنگام ساخت</p>	ساخت یک اندازه ماشین مجازی
موفق	<p>۱. ارسال درخواست ساخت ماشین مجازی و دریافت خطا به دلیل تنظیم نبودن Quota</p>	ساخت ماشین مجازی (خطا)
موفق	<p>۱. ساخت یک سهمیه استفاده از منابع برای کاربر با ID مشخص و دریافت وضعیت OK</p> <p>۲. چک کردن سهمیه ساخته شده با ارسال درخواست دریافت سهمیه</p>	ساخت سهمیه منابع برای کاربر

موفق	<p>۱. ارسال درخواست ساخت هزینه منبع محاسباتی (CPU) و دریافت وضعیت OK</p> <p>۲. ارسال درخواست ساخت هزینه منبع حافظه موقت (Memory) و دریافت وضعیت OK</p> <p>۳. ارسال درخواست ساخت هزینه منبع حافظه دائم (Storage) و دریافت وضعیت OK</p> <p>۴. چک کردن هزینه‌های ساخته‌شده با ارسال درخواست دریافت هزینه‌ها</p>	ساخت هزینه منابع
موفق	<p>۱. ارسال درخواست ساخت اعتبار برای کاربر و تخصیص اعتبار کافی به کاربر و دریافت وضعیت OK</p> <p>۲. چک کردن اعتبار با ارسال درخواست دریافت اعتبار کاربر</p>	تخصیص اعتبار به کاربر
موفق	<p>۱. ارسال درخواست ساخت ماشین مجازی، با استفاده از مشخصات اندازه و تصویر سیستم عامل که در مراحل قبل ساخته شد. در این مرحله منابع ساخته‌شده باید متناسب با Quota تعریف شده برای کاربر و هزینه‌های تعریف شده برای منابع باشد. دریافت وضعیت OK</p> <p>۲. چک کردن ماشین مجازی ساخته‌شده داخل vcloud</p> <p>۳. چک کردن Quota کاربر با ارسال درخواست دریافت Quota و دریافت مشخصات</p> <p>۴. چک کردن وضعیت شبکه ماشین مجازی با ارسال درخواست دریافت مشخصات شبکه ماشین مجازی و دریافت مشخصات</p> <p>۵. پس از گذشت زمان کافی، ارسال درخواست دریافت مشخصات مصرف منابع برای کاربر و دریافت پاسخ مناسب</p>	ارسال درخواست ساخت ماشین مجازی

موفق	<p>۱. ارسال درخواست خاموش کردن ماشین مجازی برای کاربر و دریافت وضعیت OK</p> <p>۲. چک کردن وضعیت ماشین مجازی داخل پنل vcloud و تایید خاموش شدن</p>	خاموش کردن ماشین مجازی
موفق	<p>۱. ارسال درخواست روشن کردن ماشین مجازی برای کاربر و دریافت وضعیت OK</p> <p>۲. چک کردن وضعیت ماشین مجازی داخل پنل vcloud و تایید روشن شدن</p>	روشن کردن ماشین مجازی
موفق	<p>۱. ارسال درخواست پاک کردن ماشین مجازی برای کاربر و دریافت وضعیت OK</p> <p>۲. چک کردن وضعیت ماشین مجازی داخل پنل vcloud و تایید پاک شدن</p> <p>۳. تایید کم شدن سهمیه مصرفی منابع کاربر با ارسال درخواست دریافت سهمیه کاربر و بررسی پاسخ</p>	پاک کردن ماشین مجازی

۳-۴ تست بار

تست بار^۵ به دسته‌ای از تست‌ها گفته می‌شود که عملکرد سامانه و الگوی مصرف از منابع و میزان مصرف از منابع را در سناریوهای تحت فشار شدید ارزیابی می‌کنند. معمولاً این تست‌ها عملکردی ساده از سامانه که می‌تواند یک تست ادغام باشد را به صورت موازی توسط چندین کاربر اجرا می‌کنند. نتایج این تست به توسعه دهندگان این امکان را می‌دهد که نسبت حجم درخواست به منابع مصرفی و سرعت پاسخگویی برنامه را متوجه شوند و در صورت نیاز سناریوهای مقیاس پذیری یا بهبودهای عملکردی را طراحی کنند. این تست‌ها در این پروژه به دو صورت انجام شده، دسته اول از تست‌ها در قالب فایل‌های Benchmark اضافه شده. یکی از قابلیت‌های زبان برنامه‌نویسی Go، امکان تعریف Benchmark برای قسمت‌های مختلف برنامه است. این توابع همانند تست‌های واحد، می‌توانند واحد مشخصی از برنامه را با حجم

⁵Load Test

متغیری از ورودی اجرا کنند و نتیجه را به تفکیک سرعت اجرا و منابع مصرفی برای کاربر نمایش دهند. نوع دیگر انجام تست بار، توسط ابزارهای خارجی اجرا می‌شود و عملکرد کلی برنامه را در سناریوهای پیچیده‌تر ارزیابی می‌کند. یکی از ابزارهای مورد استفاده در این بخش، ابزار $\square 6$ است. با نوشتن و طراحی سناریو و مشخص کردن نوع و حجم بار ورودی به سامانه، با اجرای این برنامه، می‌توانیم عملکرد سامانه را نسبت به حجم بار ورودی ارزیابی کنیم و در نهایت صحت عملکرد پاسخ‌ها را نیز دریافت کنیم.

۴-۴ محدودیت‌ها

با توجه به معماری استفاده‌شده در پیاده‌سازی این سامانه، تمامی خدمت‌گزارهای سامانه و پایگاه داده می‌توانند به صورت افقی مقیاس شوند تا پاسخگوی حجم‌های احتمالی زیاد باشند. با این وجود بخش‌هایی از سامانه محدودیت‌هایی در راستای حجم فشار کلی سامانه ایجاد می‌کنند.

اولین محدودیت سامانه، عدم امکان مقیاس کردن زمان‌بند سرویس خادم است. این زمان‌بند به صورت مستقیم با کاربران در تعامل نیست و در نتیجه حجم درخواست‌های ناگهانی بار اصلاً تأثیرگذار نیست. اما بالا رفتن تعداد منابع ساخته‌شده، یا فشار زیاد شبکه، باعث اختلال در عملکرد و فشار بر این برنامه می‌شود. راه حل کمتر کردن این فشار، رزرو کردن منابع اختصاصی شبکه برای این برنامه در کنار زیاد کردن منابع محاسباتی پیش از اجرا است.

یکی دیگر از محدودیت‌های سامانه که مقیاس شدن برنامه در آن تأثیر کمی دارد، زیرساخت cloud director است. با توجه به ساختار تک نسخه‌ای بودن آن در برنامه، تمامی نسخه‌های سرویس خادم با یک نسخه از cloud director در ارتباط هستند. از آنجایی که عملیات تعریف شده در این برنامه، ذاتاً زمان‌بر هستند و نیازمند اجرا به صورت آسنکرون هستند. اجرای حجم زیادی از درخواست‌ها و ارسال آن‌ها به سمت cloud director می‌تواند باعث بروز اختلال و اعمال فشار بر این سرویس شود. راه حل پیشنهادی جهت بهبود این محدودیت، تعریف سقف برای تعداد عملیات در حال اجرا در سمت خادم است. این کار می‌تواند با قرار دادن یک صف پیام^۶ بین سرویس باجه و خادم انجام شود.

^۶Message Queue

فصل پنجم

جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای کارهای آتی

۱-۵ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پروژه، سعی کردیم که یک رابط تحت وب برای ارائه خدمات IaaS بر بستر VMWare Cloud Director ارائه دهیم. در ابتدا با تحقیق و پیدا کردن نیازمندی‌ها، اقدام به طراحی معماری کلی سامانه و شناسایی ابزارها و نیازمندی‌ها کردیم. سپس با تحقیق در مورد این نیازمندی‌ها و مزیت‌های هر مدل از پیاده‌سازی، به یک طراحی نهایی رسیدیم. برای طراحی این پیاده‌سازی از الگوهای رایج توسعه نرم‌افزار تحت وب استفاده کردیم و به یک سامانه با قابلیت‌های قبول رسیدیم که به واسطه ساختار قطعه‌ای، قابلیت توسعه و تکمیل کردن به راحتی را دارد. سپس با ارزیابی‌های چندجانبه از صحت و توان عملکردی نرم‌افزار، پیش‌بینی تقریبی از اجرای این نرم‌افزار در سناریوهای واقعی به دست آوردیم.

۲-۵ پیشنهادات برای کارهای آتی

این پروژه، قابلیت تکمیل و توسعه از ابعاد مختلفی را داراست. ساختار میکروسرویسی و وابستگی اندک سرویس‌ها به یکدیگر، امکان توسعه و تغییر در میکروسرویس‌ها را به صورت جداگانه می‌دهد. در ادامه برخی پیشنهادات برای تکمیل و توسعه را به صورت جامع توضیح می‌دهیم.

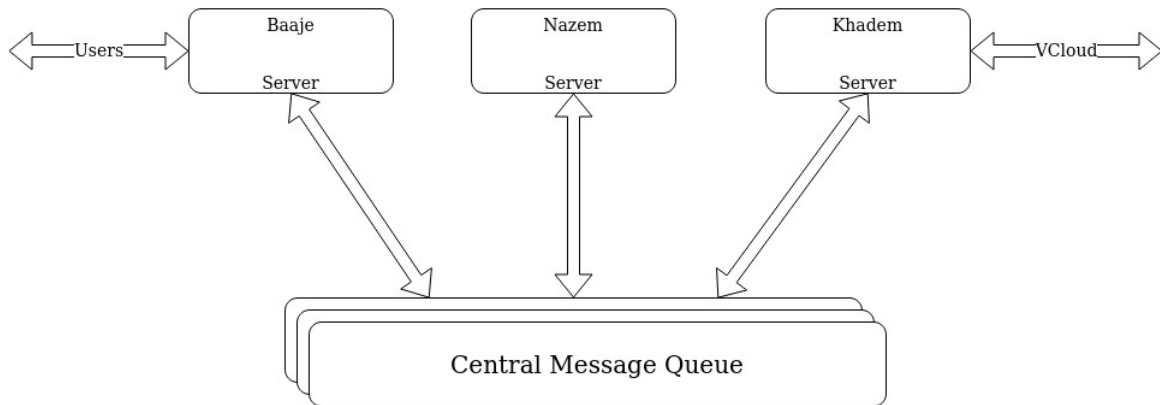
۱-۲-۵ تجزیه میکروسرویس ناظم

عملکرد سرویس ناظم در حال حاضر، دربرگیرنده تنظیمات و تصمیمات کسب‌وکار از جمله مصرف کاربران و امور مالی است. در صورت نیاز و ظهور نیازمندی‌های کسب‌وکاری بیشتر، می‌توان قسمت ثبت مصرف و تصمیمات مالی را جداکرد.

با این کار می‌توان مدل‌های مختلف پرداختی را پشتیبانی کرد. این جداسازی مزیت جداشدن منطق و محدودتر شدن فعالیت‌های میکروسرویس را به دنبال دارد. منتها سربار منابع مصرفی اضافی و افزایش تعداد درخواست‌ها در شبکه را نیز اضافه می‌کند.

۲-۲-۵ ارتباطات رخداد پایه

در حال حاضر، تمام ارتباطات سامانه به صورت سنکرون و توسط درخواست‌های HTTP انجام می‌شود. مزیت این روش سادگی پیاده‌سازی و دنبال کردن روند اجرای دستورات است. منتها با افزایش تعداد درخواست‌ها و محدودیت‌های شبکه، این مشکل پیش می‌آید که بازیابی وضعیت سیستم از خطا دشوارتر



شکل ۵-۱: معماری سامانه در حالت آسنکرون

می‌شود. برای افزایش آستانه تحمل خطا در سرویس‌ها و امکان اضافه کردن تلاش مجدد^۱، می‌توان ارتباط سرویس‌ها را به صورت آسنکرون و به صورت رخداد پایه انجام داد. مزیت این کار بالابردن در دسترس بودن سیستم^۲ می‌شود. برای پیاده‌سازی این مورد می‌توان از ابزارهای انتقال پیام نظیر Apache Kafka یا راه‌حل‌های سبک‌تر نظیر NATS استفاده کرد.

نحوه پیاده‌سازی API در میکروسرویس‌ها، امکان تغییر مکانیزم تعامل با بیرون را بسیار ساده کرده است. فقط کافی است که در پکیج‌های مربوطه، توابع مربوط به دریافت و ارسال اطلاعات را فارغ از نحوه پیاده‌سازی معرفی کنید. لایه‌های زیرین سرویس فقط نیازمند توابعی برای دریافت و ارسال اطلاعات هستند و وابستگی‌ای به نحوه دریافت و ارسال این اطلاعات ندارند. معماری جدید سامانه در این حالت در شکل ۵-۱ مشخص شده است.

۳-۲-۵ نظارت و گزارش رخدادها

جهت بهبود وضعیت نظارت بر سامانه، می‌توان از داشبوردهای گرافیکی ابزار گرافانا^۳ استفاده کرد. فقط کافیست که از اطلاعات متریک‌های سرور برای نمایش اطلاعات در قالب این داشبوردها استفاده کرد. مزیت دیگر استفاده از این ابزار، امکان تعریف هشدار^۴ برای وضعیت‌های خاص و ناخواسته است. استفاده از این الگو، از روندهای رایج در فرهنگ SRE^۵ است. پیروی از این فرهنگ، بازیابی از فاجعه‌ها و ایرادات را بسیار سریع‌تر و آسان‌تر می‌کند.

¹Retry

²Availability

³Grafana

⁴Alert

⁵Software Reliability Engineer

اضافه کردن Telemetry بسیار به درک و نظارت عملکرد میکروسرویس‌ها کمک می‌کند. ابزار پیشنهادی برای پیاده‌سازی این قابلیت، Jaeger و کتابخانه‌های OpenTelemetry است.

۴-۲-۵ پشتیبانی از افزونه‌های VMWare Cloud Director

برخی از قابلیت‌های ابزار Cloud Director در قالب افزونه‌ها ارائه شده که به صورت پیش‌فرض فعال نیستند و نیازمند تغییراتی در تنظیمات هستند. با فعال سازی این افزونه‌ها می‌توان از امکانات بیشتری از این سرویس استفاده کرد. یکی از مثال‌های این افزونه‌ها، افزونه نظارت (Monitoring) است که نیازمند راه‌اندازی یک پایگاه Cassandra است. با تنظیم کردن و اضافه کردن این افزونه، امکان دریافت جزئیات مصرف منابع و گزارش گیری از آنها را مستقیماً از سمت Cloud Director پیدا می‌کنیم.

البته پیاده‌سازی این این امکانات در سمت سرویس خادم با چالش‌هایی همراه است. چرا که این جزئیات در بسته توسعه نرم‌افزار پیش‌فرض تعبیه نشده و نیازمند تعامل مستقیم و خام برنامه با رابط برنامه‌نویسی vCloud است. البته این امر می‌تواند به سادگی و با تبدیل دستورات برنامه رابط کاربری تحت وب به دستورات cURL و سپس تبدیل دستورات cURL به درخواست‌های HTTP در زبان Go توسط برنامه Postman انجام شود. توسعه‌دهنده کافی است درخواست‌های ساخته‌شده را به قالب توابع موجود در VCloudManager در بسته vcloud در برنامه تبدیل کند.

کتاب‌نامه

- [1] Arvancloud. Arvancloud iaas api documentation.
<https://www.arvancloud.ir/api/iaas/1.0>. [Accessed Feb. 16, 2023].
- [2] Asiatech. آسیاتک (iaas) خدمات ابری زیرساخت آسیاتک. <https://asiatech.cloud/api-doc/>.
[Accessed Feb. 16, 2023].
- [3] Donovan, S. and Kernighan, B. W. *The Go Programming Language*. Pearson Education, 2015.
- [4] Fielding, Roy T. *Architectural styles and the design of network-based software architectures*. Dissertation, University of California, Irvine, 2000.
- [5] Fowler, Martin. *Microservices*. O'Reilly Media, Inc., 2014.
- [6] Hightower, R. *Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems*. O'Reilly Media, Inc., 2017.
- [7] Inc., Oracle. Design Patterns: Data Access Object.
<https://www.oracle.com/java/technologies/data-access-object.html>.
[Accessed Feb. 16, 2023].
- [8] Lockard, D. *The Pros and Cons of Go*. Packt Publishing Ltd., 2019.
- [9] Mell, Peter and Grance, Timothy. The nist definition of cloud computing.
National Institute of Standards and Technology, 7(1):1–15, 2011.

- [10] Microsoft. Direct client-to-microservice communication versus the api gateway pattern. <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/architecture/microservices/architect-microservice-container-applications/direct-client-to-microservice-communication-versus-the-api-gateway-pattern>, 2023. [Accessed Feb. 16, 2023].
- [11] Microsoft. What is iaas? <https://azure.microsoft.com/en-us/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-iaas>, 2023. [Accessed Feb. 16, 2023].
- [12] Stonebraker, Michael. NoSQL Databases. *ACM Queue*, 8:3–7, 2010.
- [13] VMWare. Vmware cloud director architecture. <https://docs.vmware.com/en/VMware-Cloud-Director/10.4/VMware-Cloud-Director-Install-Configure-Upgrade-Guide/GUID-059548C6-0779-4242-84BB-6F3F4D8E6E4E.html>, 2023. [Accessed Feb. 16, 2023].

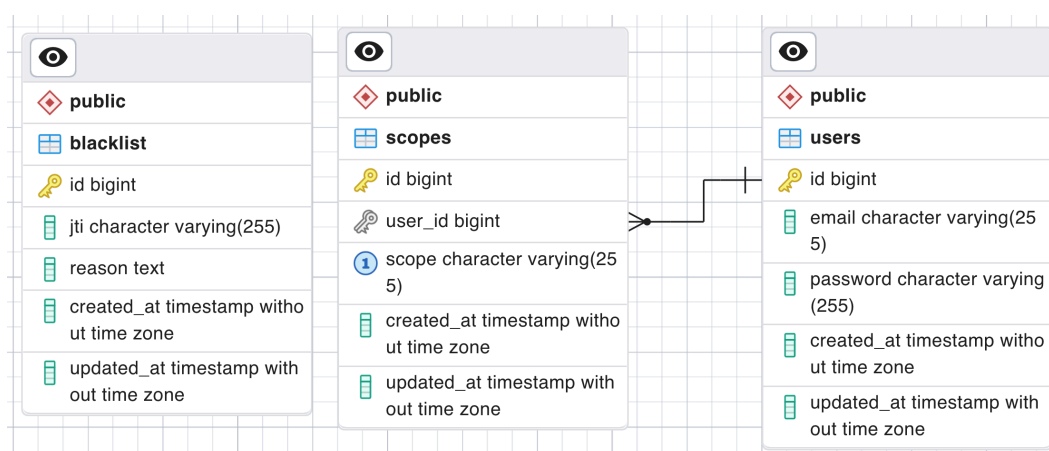
پیوست

کدها و پیوست‌ها

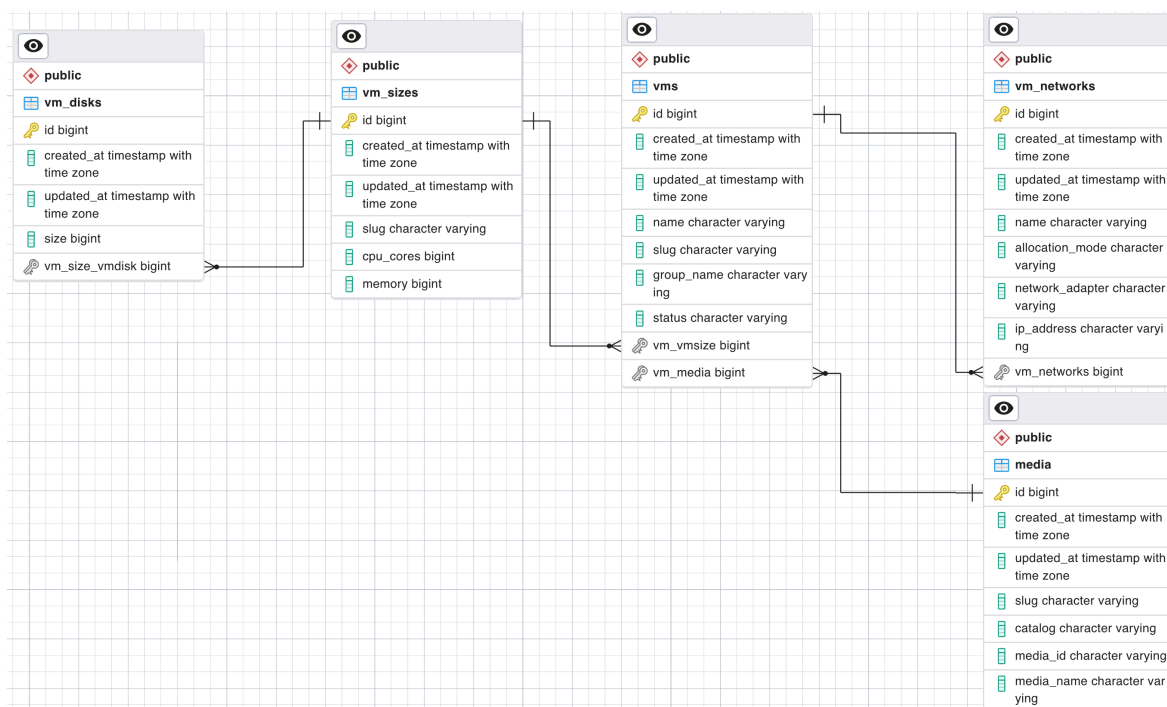
تمامی کدها و پیوست‌های پروژه نظیر ساختار پایگاه داده، نیازمندی‌های اجرا و فایل‌های قابل اجرا در مخزن زیر در دسترس است.

<https://github.com/smf8/30bird>

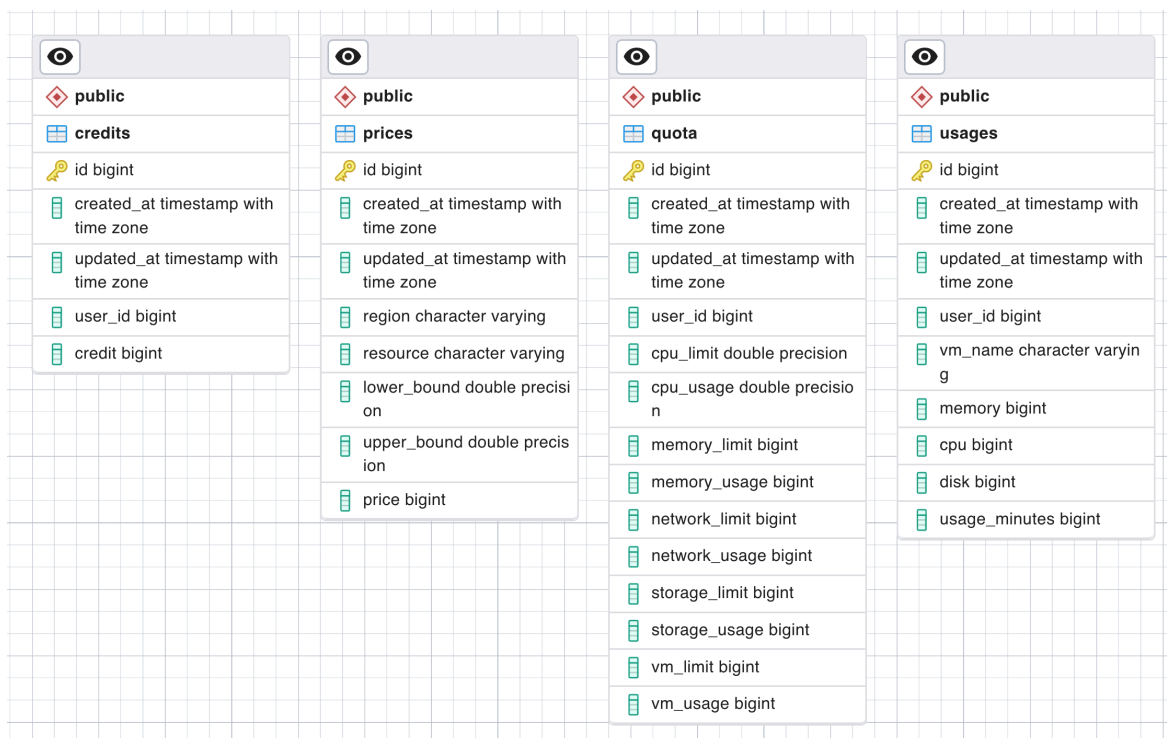
نمودارهای رابطه-موجودیت



شکل ۲: ساختار موجودیت‌ها و رابطه‌ها در پایگاه داده قفل



شکل ۳: ساختار موجودیت‌ها و رابطه‌ها در پایگاه داده باجه



شکل ۴: ساختار موجودیت‌ها در پایگاه داده ناظم



Amirkabir University of Technology
(Tehran Polytechnic)

Department of Computer Engineering

Bachelor Thesis

VMWare VCloud IaaS REST Interface

By

Seyed Mohammad Fatemi

Supervisor

Dr. Mahmoud Momtazpour

March 2023