



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی کامپیوتر

پروژه کارشناسی
گرایش معماری سیستم‌های کامپیوتری

پیاده‌سازی سیستم نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه
تجهیزات بر بستر اینترنت اشیاء مبتنی بر تحلیل لرزش

نگارنده

آریان بوکانی

استاد راهنما

حمیدرضا زرنندی

مرداد ۱۴۰۲

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

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

در این صفحه فرم دفاع یا تأیید 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 نامه های 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: مرداد ۱۴۰۲

اینجانب **آریان بوکانی** 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 می‌باشد. 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.

آریان بوکانی

امضا

تقدیم بہ مادر و پدر عزیزم

سپاس‌گزاری

از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر حمیدرضا زرندی که با حسن خلق و گشاده‌رویی، رهنمودهای روشنگر خود را برای انجام این پروژه از من دریغ نکرده‌اند، از استاد مشاورم جناب آقای دکتر حامد فربه که راهنمایی‌های ایشان از بدو ورود به دانشگاه کمک بسیاری به من در طی کردن مسیر تحصیل بوده‌اند، از مادر و پدرم که همواره در مواجهه با سختی‌های این دنیا دلسوزانه همراهم بوده‌اند، و از سایر عزیزانی که در کنارشان این نتیجه حاصل آمد کمال تشکر و قدردانی را دارم.

آریان بوکانی
مرداد ۱۴۰۲

چکیده

در این قسمت چکیده پایان نامه نوشته می‌شود. چکیده باید جامع و بیان‌کننده خلاصه‌ای از اقدامات انجام‌شده باشد. در چکیده باید از ارجاع به مرجع و ذکر روابط ریاضی، بیان تاریخچه و تعریف مسئله خودداری شود.

واژه‌های کلیدی:

نگهداری پیش‌بینانه، تحلیل لرزش، یادگیری ماشین، اینترنت اشیاء

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۱	مقدمه	۱
۲	۱-۱ مقدمه	۲
۳	۲-۱ تعریف مسئله	۳
۴	۳-۱ کارهای مشابه	۴
۵	۲ تکنولوژی‌های استفاده‌شده	۵
۶	۱-۲ زبان برنامه‌نویسی	۶
۶	۱-۱-۲ زبان برنامه‌نویسی پایتون	۶
۸	۲-۲ چارچوب‌ها و کتابخانه‌ها	۸
۸	۱-۲-۲ چارچوب FastAPI	۸
۸	۲-۲-۲ کتابخانه‌ی NumPy	۸
۸	۳-۲-۲ کتابخانه‌ی scikit-learn	۸
۹	۳ استقرار مدل یادگیری ماشین	۹
۱۰	۱-۳ زیرساخت به عنوان خدمت	۱۰
۱۰	۲-۳ انواع روش‌های استقرار	۱۰
۱۴	۴ مشخصات یک پایان نامه و گزارش علمی	۱۴
۱۵	۱-۴ برخورداری از غنای علمی	۱۵
۱۵	۲-۴ ارجاع به‌موقع و صحیح به منابع دیگر	۱۵
۱۵	۳-۴ ساده‌نویسی	۱۵
۱۶	۴-۴ وحدت موضوع	۱۶
۱۶	۵-۴ اختصار	۱۶
۱۶	۶-۴ رعایت نکات دستوری و نشانه‌گذاری	۱۶
۱۶	۷-۴ توجه به معلومات ذهنی مخاطب	۱۶
۱۶	۸-۴ رعایت مراحل اصولی نگارش	۱۶

۱۸	۵ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۱۹	۱-۵ پیشنهادات
۲۰	منابع و مراجع
۲۲	پیوست

فهرست اشکال

صفحه

شکل

۱-۱	مقایسه‌ی هزینه‌های انواع نگهداری‌ها	۳
۲-۱	نمودار جریان کار	۴
۱-۳	انواع سرویس‌های ارائه‌شده توسط شرکت‌های خدمات ابری	۱۱
۲-۳	انواع روش‌های استقرار مدل‌های یادگیری ماشین	۱۲

فهرست جداول

صفحه

جدول

فهرست نمادها

نماد	مفهوم
\mathbb{R}^n	فضای اقلیدسی با بعد n
\mathbb{S}^n	کره n یکه بعدی
M^m	خمینه m -بعدی M
$\mathfrak{X}(M)$	جبر میدان‌های برداری هموار روی M
$\mathfrak{X}^1(M)$	مجموعه میدان‌های برداری هموار 1 یکه روی (M, g)
$\Omega^p(M)$	مجموعه p -فرمی‌های روی خمینه M
Q	اپراتور ریچی
\mathcal{R}	تانسور انحنای ریمان
ric	تانسور ریچی
L	مشتق لی
Φ	2 -فرم اساسی خمینه تماسی
∇	التصاق لوی-چویتای
Δ	لاپلاسین ناهموار
∇^*	عملگر خودالحاق صوری القا شده از التصاق لوی-چویتای
g_s	متر ساساکی
∇	التصاق لوی-چویتای وابسته به متر ساساکی
Δ	عملگر لاپلاس-بلترامی روی p -فرم‌ها

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

در صنعت، نگهداری و تعمیرات^۱ به تمام فعالیت‌هایی اطلاق می‌شود که بر روی ابزارهای صنعتی انجام می‌شود تا بهره‌وری و عمر این ابزارها افزایش یابد. در سال‌های اخیر، رویکردهای مختلفی برای انجام نگهداری مورد استفاده قرار گرفته است. روش‌های نگهداری زیر، از میان همه‌ی این رویکردها، بیشترین فراوانی استفاده در صنعت را دارند [۱]:

- **نگهداری و تعمیرات اصلاحی^۲**: به جایگزینی قطعه خراب شده در سیستم می‌پردازد. در این رویکرد، تا زمانی که فرایند جایگزینی قطعه معیوب به اتمام نرسد، سیستم غیرقابل بهره‌برداری است و تعمیر قطعات بعد از خرابی هزینه‌های قابل توجهی برای صاحبان صنعت به همراه دارد.

- **نگهداری و تعمیرات جلوگیریانه^۳**: سعی در پیش‌گیری از اتلاف زمان ناشی از توقف اضطراری دارد، اما در عوض ممکن است تعدادی از قطعاتی که هنوز عمر مفید دارند، دور ریخته شوند و اصراف در هزینه و قطعات مصرفی صورت گیرد.

- **نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه^۴**: سعی می‌کند مشکلات دو نوع نگهداری و تعمیرات مذکور را حل کند. با استفاده از این روش، زمان عملیاتی هر قسمت دستگاه تخمین زده می‌شود و قطعاتی که توسط سیستم مشکوک به خرابی در آینده هستند تعویض می‌گردند و بنابراین ابزارهای موجود در سیستم به صورت بهینه مورد استفاده قرار می‌گیرند و هزینه‌های تعمیرات بشدت کاهش می‌یابد.

بدلیل اینکه در نگهداری پیش‌بینانه قطعات در حال خرابی، پیش از وقوع خرابی شناسایی می‌شوند و ناکارآمدی آن بخش به کل سیستم آسیب نمی‌رساند، همانطور که در **شکل ۱-۱** مشخص است، با استفاده از این نوع نگهداری، می‌توان مجموع هزینه‌های نگهداری و تعمیرات را به حداقل میزان ممکن رساند.

¹Maintenance

²Corrective Maintenance

³Preventive Maintenance

⁴Predictive Maintenance



شکل ۱-۱: مقایسه‌ی هزینه‌های انواع نگهداری‌ها

۲-۱ تعریف مسئله

هدف از انجام این پروژه، پیاده‌سازی سیستمی برای اجرا کردن نگهداری پیش‌بینانه بر روی گره‌های موجود در یک اینترنت اشیاء^۵ به هم پیوسته است. رویکردهای مختلفی برای این منظور تا کنون توسط محققان ابداع و مورد استفاده قرار گرفته شده است. از جمله‌ی این موارد می‌توان به تحلیل لرزش^۶ اشاره کرد. برای پیاده‌سازی این سیستم همانطور که در شکل ۲-۱ به تصویر آمده است، نیازمند آنیم که داده‌های لرزش مربوط به گره‌ها را که توسط یک سیستم قابل اتکا^۷ جمع‌آوری شده است، دریافت کرده و با جدا کردن داده‌های پرت^۸، از بین بردن تاثیر اختلال^۹ ایجاد شده توسط گرانس و خرابی یا درست کار نکردن حسگر^{۱۰} اندازه‌گیری لرزش، استخراج ویژگی^{۱۱}‌های مناسب برای انجام تحلیل روی داده و

^۵Internet of Things

^۶Vibration Analysis

^۷Reliable

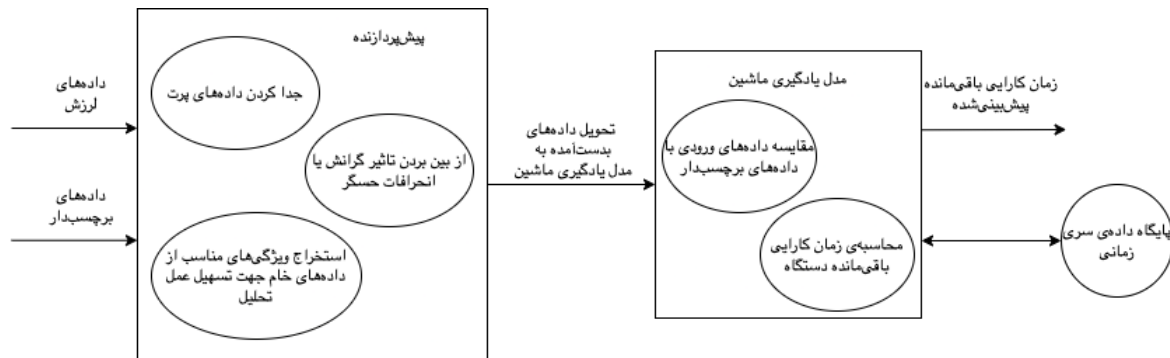
^۸Outlier Data

^۹Noise

^{۱۰}Sensor

^{۱۱}Feature Extraction

در نهایت پیشنهاد دادن مدلی برای نحوه‌ی یادگیری ماشین^{۱۲} و تحلیل و مقایسه‌ی داده‌های بدست‌آمده با داده‌های برچسب‌دار^{۱۳}، عمر باقی‌مانده^{۱۴}ی دستگاه‌های مختلف را پیش‌بینی کنیم و بر اساس اعداد بدست‌آمده، اقدامات مناسب را برای انجام مراقبت‌های دوره‌ای انجام دهیم و از تحمیل‌شدن هزینه‌های جانبی در آینده جلوگیری کنیم.



شکل ۱-۲: نمودار جریان کار

۳-۱ کارهای مشابه

¹²Machine Learning

¹³Labeled Data

¹⁴Remaining Useful Lifetime

فصل دوم

تکنولوژی‌های استفاده‌شده

در این فصل تکنولوژی‌ها و چارچوب^۱های اصلی دخیل در توسعه این دستگاه را به طور دقیق مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۱-۲ زبان برنامه‌نویسی

برای انتخاب زبان برنامه‌نویسی مناسب برای توسعه مدل یادگیری ماشین شرح داده شده، باید معیارهای متفاوتی را در نظر گرفت. برای این منظور زبان پایتون^۲ را برگزیدیم. مواردی همچون داشتن چارچوب‌ها و کتابخانه‌های قدرتمند یادگیری ماشین، توسعه‌ی آسان و سریع و محبوبیت بالا از دلایل اصلی انتخاب پایتون به عنوان زبان اصلی برای توسعه‌ی سرویس یادگیری ماشین می‌باشد. همچنین شایان ذکر است که چون کارگزار اصلی جمع‌آوری اطلاعات لرزش به زبان پایتون نوشته شده است، استفاده از این زبان برای توسعه مدل یادگیری ماشین، باعث بهبود توسعه‌پذیری نیز می‌گردد.

۱-۱-۲ زبان برنامه‌نویسی پایتون

یک زبان برنامه‌نویسی عمومی و سطح بالا است که فلسفه طراحی آن بر روی خوانایی کد تأکید دارد. نحو^۳ پایتون به برنامه‌نویسان امکان می‌دهد تا مفاهیم را با تعداد کمتری خط کد نسبت به زبان‌هایی مانند سی^۴ بیان کنند و این زبان ساختارهایی را فراهم می‌کند که برنامه‌های واضح و قابل فهم را در هر دو مقیاس کوچک و بزرگ فراهم می‌سازد^[۲]. یکی از مشخصه‌های مهم پایتون این است که از چندین الگو^۵ی برنامه‌نویسی، از جمله شیء‌گرا^۶ و تابعی یا روش‌های رویه‌ای، پشتیبانی می‌کند. پایتون سیستم نوع پویا و مدیریت خودکار حافظه را پشتیبانی می‌کند و کتابخانه‌های استاندارد و جانبی بزرگ و جامع دارد. مفسرهای پایتون برای بسیاری از سیستم‌عامل‌ها در دسترس هستند^[۳]. از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های پایتون می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- **سادگی:** پایتون یک زبان برنامه‌نویسی بسیار سطح بالا است که منابع زیادی برای یادگیری آن وجود دارد. پایتون از ابزارهای شخص ثالث متنوعی پشتیبانی می‌کند که استفاده از آن را بسیار آسانتر می‌کند و کاربران را ترغیب می‌کند تا ادامه دهند^[۳، ۴].

¹Framework

²Python

³Syntax

⁴C Programming Language

⁵Paradigm

⁶Object Oriented Programming (OOP)

• **متن‌باز بودن**^۷: اگرچه تمام حقوق این زبان برنامه‌نویسی متعلق به سازمان پایتون است، اما در حال حاضر به عنوان یک نرم‌افزار متن‌باز وجود دارد و هیچ محدودیتی در استفاده، تغییر و توزیع آن وجود ندارد. می‌توان به آزادی از پایتون استفاده کرد و آن را برای استفاده شخصی و یا تجاری توزیع کرد. نه تنها می‌توان نرم‌افزاری که با آن نوشته شده است را استفاده و توزیع کرد، بلکه حتی می‌توان تغییراتی در خود کد منبع پایتون اعمال کرد. همچنین شایان ذکر است که پایتون یک جامعه بزرگ و پویا دارد که در هر نسخه آن را بهبود می‌بخشد [۳، ۴].

• **کتابخانه‌ها و چارچوب‌ها**: پایتون دارای یک سری کتابخانه‌های استاندارد و چارچوب‌های متنوع است که کار برنامه‌نویسان را بشدت راحت می‌کند، زیرا نیازی نیست تمام کدنویسی را خود برنامه‌نویس انجام دهد. کتابخانه‌های استاندارد در پایتون به خوبی تست شده‌اند و توسط هزاران نفر استفاده می‌شوند. بنابراین، می‌توان اطمینان داشت که استفاده از این کتابخانه‌ها توانایی ایجاد خرابی در برنامه‌های شما را ندارند [۳، ۴].

حال به بررسی معایب پایتون می‌پردازیم. نکته‌ی قابل توجه در این قسمت این است که اگر معایب نام‌برده شده تاثیر زیادی در کیفیت خدمت ارائه‌شده به کاربر بگذارند، استفاده از پایتون اصلا توصیه نمی‌شود و باید به دنبال جایگزینی مناسب گشت. از جمله کاستی‌های پایتون عبارت‌اند از:

• **کندی**: به عنوان یک زبان با نوع پویا، پایتون به دلیل انعطاف‌پذیری بالا، کند عمل می‌کند، زیرا ماشین باید بسیاری از مراجعات را انجام دهد تا از تعریف چیزی مطمئن شود و این باعث کاهش عملکرد پایتون می‌شود [۳، ۴].

• **دشواری فرایند نگهداری**^۸: به دلیل اینکه پایتون یک زبان با نوع پویا است، یک چیز ممکن است به راحتی به معنای متفاوتی در تک‌نمایی متفاوت تفسیر شود. با افزایش اندازه و پیچیدگی یک برنامه پایتون، نگهداری آن ممکن است دشوار شود. با کمک تست‌های واحد^۹ می‌توان تا حدی این از وقوع این مشکل جلوگیری کرد [۳، ۴].

⁷Open Source

⁸Maintaining

⁹Unit Tests

در این پروژه از چارچوب فست‌ای‌پی‌آی^{۱۰} برای دریافت درخواست‌ها و ارسال نتایج پیش‌بینی استفاده شده است. این سرویس به عنوان یک بسته^{۱۱}‌ی پایتونی به کارگزار^{۱۲} اصلی اضافه شده است. همچنین برای پیاده‌سازی مدل و انجام محاسبات ریاضی و ماتریسی از کتابخانه‌های نام‌پای^{۱۳} و سایکیت^{۱۴} بهره برده شده است. در بخش‌های بعد به معرفی مختصر هر کدام از این موارد خواهیم پرداخت. لازم به ذکر است که جهت خوانایی بیشتر، از معادل انگلیسی این کتابخانه‌ها استفاده خواهیم کرد.

۳-۲-۲ کتابخانه Scikit-Learn

人

Chapter سوم

¹ CPS

²

3-1

CPS)

.(

IaaS

] ⁵. 3-1

IaaS

] ⁶.

3-2

3-2] ⁷:

- ³:

] ^{8, 9}.

- ⁴:

⁶ ⁷

⁵

¹Cloud Services Providers

²Infrastructure as a Service (IaaS)

³Batch Deployment

⁴Real-Time Deployment

⁵Trigger

⁶Application Programming Interface (API)

⁷Hypertext Transfer Protocol (HTTP)

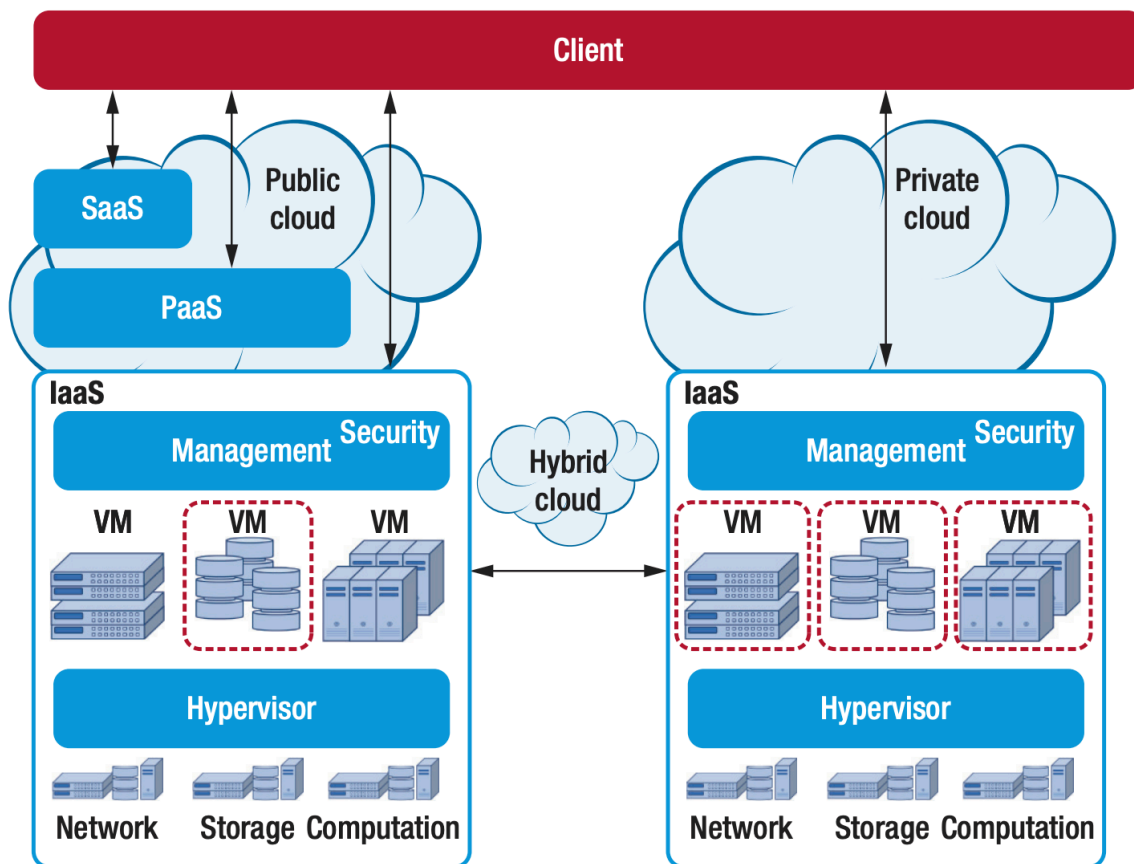


Figure 3-1:

8

9

] 8, 9].

10.

11

12

13

⁸Process

⁹Multi-Threaded

¹⁰Streaming Deployment

¹¹Asynchronous

¹²Message Broker

¹³Apache Kafka

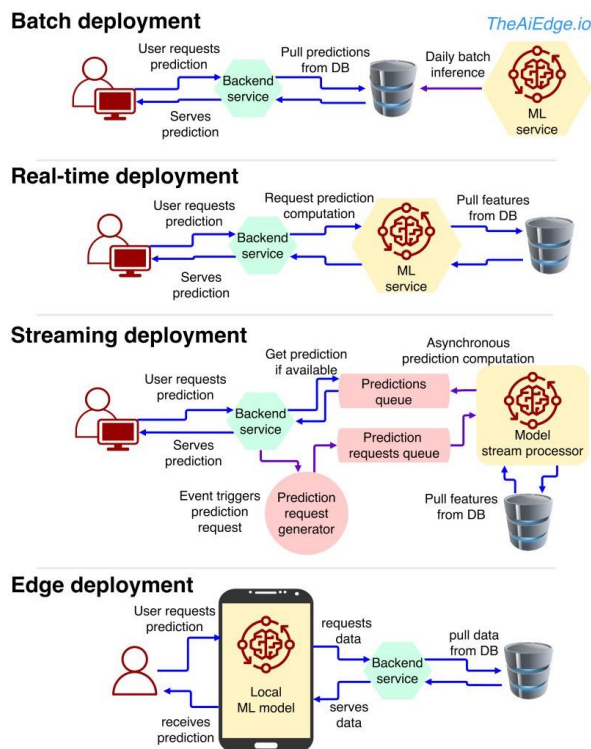


Figure 3-2:

] 8, 9].

14:

] 7].

Chapter چهارم

.

(.

4-1

.

.

4-2

.

.

4-3

.

.

.

.

« » « » « » « » « »

« » « » « » « » . « »

« » .

.

()

.

.

10 15 .

4-4

4-5

4-6

4-7

4-8

•

•

•

•

•

.

Chapter پنجم

5-1

- [1] Zhao, Jingyi, Gao, Chunhai, and Tang, Tao. A review of sustainable maintenance strategies for single component and multicomponent equipment. *Sustainability*, 14(5):2992, 2022.
- [2] Van Rossum, Guido et al. Python programming language. in *USENIX annual technical conference*, vol. 41, pp. 1–36. Santa Clara, CA, 2007.
- [3] Srinath, KR. Python—the fastest growing programming language. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(12):354–357, 2017.
- [4] Sharma, Akshansh, Khan, Firoj, Sharma, Deepak, Gupta, Sunil, and Student, FY. Python: the programming language of future. *Int. J. Innovative Res. Technol*, 6(2):115–118, 2020.
- [5] Youssef, Ahmed E. Exploring cloud computing services and applications. *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*, 3(6):838–847, 2012.
- [6] Serrano, Nicolas, Gallardo, Gorka, and Hernantes, Josune. Infrastructure as a service and cloud technologies. *IEEE Software*, 32(2):30–36, 2015.
- [7] Deploying your Machine Learning models | Kaggle — kaggle.com. <https://www.kaggle.com/discussions/getting-started/382794>. [Accessed 03-Apr-2023].

- [8] Singh, Pramod. Deploy machine learning models to production. *Cham, Switzerland: Springer*, 2021.
- [9] Pacheco, Fannia, Exposito, Ernesto, Gineste, Mathieu, Baudoin, Cedric, and Aguilar, Jose. Towards the deployment of machine learning solutions in network traffic classification: A systematic survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(2):1988–2014, 2018.

:

1. .
2. () (Case Study) .
3. .
4. .

```
with(DifferentialGeometry):
with(Tensor):
DGsetup([x, y, z], M)
frame name: M
a := evalDG(D_x)
D_x
b := evalDG(-2 y z D_x+2 x D_y/z^3-D_z/z^2)
```

Abstract

This page is accurate translation from Persian abstract into English.

Key Words:

Write a 3 to 5 KeyWords is essential. Example: AUT, M.Sc., Ph. D, ..



Amirkabir University of Technology
(Tehran Polytechnic)

Department of Computer Engineering

B. Sc. Thesis

IoT-Enabled Predictive Maintenance System Based on Vibration Analysis

Author

Arian Boukani

Supervisor

Dr. Hamidreza Zarandi

July 2023