

'



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی کامپیوتر

پروژه کارشناسی

پیاده سازی سیستم نگهداری و تعمیرات پیش بینانه
تجهیزات بر بستر اینترنت اشیاء مبتنی بر تحلیل لرزش

نگارنده

استاد راهنما

دکتر حمیدرضا زرنندی

تیر 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: تیر ۱۴۰۲

اینجانب 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.

امضا

نویسنده پایان نامه، در صورت تمایل میتواند برای پاسخگویی پایان نامه خود را به شخص یا اشخاص و یا ارگان خاصی تقدیم نماید.

نویسنده پایان نامه می تواند مراتب امتنان خود را نسبت به استاد راهنما و استاد مشاور و یا دیگر افرادی که طی انجام پایان نامه به نحوی او را یاری و یا با او همکاری نموده اند ابراز دارد.

چکیده

در سال‌های اخیر اینترنت اشیاء به یکی از داغ‌ترین موضوعات فناوری تبدیل شده‌است. کاربرد این فناوری در تمامی حوزه‌های زندگی انسان و همچنین پیشرفت‌های اخیر در حوزه‌های جمع‌آوری داده، شبکه و هوش مصنوعی باعث شده‌اند که اینترنت اشیاء مورد توجه محققان قرار گیرد. یکی از چالش‌های موجود در صنایع و کارخانه‌ها تعویض بهینه قطعات است. با توجه به نبود اطلاعات کافی برای تحلیل وضعیت قطعات، راه‌حل مناسب برای اطمینان از کارکرد خط تولید، استفاده از متخصصان جهت بازرسی از وضعیت تجهیزات یا تعویض آنها بدون توجه به وضعیت فعلی و صرفاً طبق زمان‌بندی قبلی است. این راه‌حل‌ها علاوه بر نداشتن دقت لازم، هزینه و زمان زیادی بر صنایع تحمیل می‌کنند. در این پروژه قصد داریم که با استفاده از ترکیب اینترنت اشیاء و هوش مصنوعی، چارچوبی برای تحلیل داده‌های لرزش تجهیزات ارائه گردد تا با استفاده از آن بتوان عمر مفید باقیمانده قطعات را بخوبی پیش‌بینی کرد. همچنین با استفاده از درگاه مبتنی بر وب، نتایج حاصله به افراد متخصص نشان داده شود تا بتوانند برنامه‌ریزی دقیقی برای نگهداری و تعمیر تجهیزات ارائه کنند. با بکارگیری این رویکرد هزینه و وقت صرف‌شده برای تعویض قطعات به‌شکل چشمگیری کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی:

اینترنت اشیاء، نگهداری پیش‌بینانه، اینترنت اشیاء صنعتی، نگهداری سیستم سایبری-فیزیکی

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

| | | |
|----|--------------------------------------|----|
| ۱ | مقدمه | ۱ |
| ۲ | ۱-۱ تعمیر و نگهداری | ۲ |
| ۳ | ۲-۱ راهکار پیشنهادی | ۳ |
| ۳ | ۳-۱ کارهای مشابه | ۳ |
| ۵ | ۲ مفاهیم پایه و تجهیزات | ۵ |
| ۶ | ۱-۲ حسگر | ۶ |
| ۷ | ۲-۲ گره انتهایی | ۷ |
| ۸ | ۳-۲ پروتکل ارتباطی | ۸ |
| ۸ | ۱-۳-۲ استاندارد زیگی | ۸ |
| ۹ | ۲-۳-۲ ویژگی‌های زیگی | ۹ |
| ۱۱ | ۳-۳-۲ دسته‌بندی دستگاه‌ها | ۱۱ |
| ۱۲ | ۴-۳-۲ توپولوژی | ۱۲ |
| ۱۳ | ۵-۳-۲ دیجی بین‌الملل | ۱۳ |
| ۱۳ | ۶-۳-۲ طرز کار دستگاه‌های ایکس‌بی | ۱۳ |
| ۱۵ | ۷-۳-۲ ارتباط سریال ماژول‌های ایکس‌بی | ۱۵ |
| ۱۷ | ۴-۲ پایگاه داده‌ی سری زمانی | ۱۷ |
| ۱۸ | ۵-۲ پیش‌پردازش | ۱۸ |
| ۱۹ | ۶-۲ برنامه‌ی تحت وب | ۱۹ |
| ۱۹ | ۱-۶-۲ چارچوب ویو | ۱۹ |
| ۲۱ | منابع و مراجع | ۲۱ |
| ۲۳ | پیوست | ۲۳ |
| ۲۴ | واژه‌نامه‌ی فارسی به انگلیسی | ۲۴ |
| ۲۶ | واژه‌نامه‌ی انگلیسی به فارسی | ۲۶ |

فهرست اشکال

صفحه

شکل

| | | |
|---------------------------------------------------------|----|------|
| سیاست‌های انجام تعمیرات و نگهداری [۱] | ۲ | ۱-۱ |
| حسگر مدل ADXL 345 | ۷ | ۱-۲ |
| بورد آردوینو نانو | ۷ | ۲-۲ |
| مقایسه پروتکل زیگبی و سایر پروتکل‌های اینترنت اشیاء | ۹ | ۳-۲ |
| شبکه زیگبی شامل هماهنگ‌کننده، مسیریاب و گره پایانی [۱۰] | ۱۲ | ۴-۲ |
| توپولوژی‌های مختلف شبکه زیگبی [۱۱] | ۱۳ | ۵-۲ |
| ماژول زیگبی مدل XBee S2 | ۱۴ | ۶-۲ |
| فرایندهای لازم برای ارتباط دو ماژول ایکس‌بی [۱۲] | ۱۴ | ۷-۲ |
| ارتباط سریال در حالت شفاف [۱۲] | ۱۵ | ۸-۲ |
| ارتباط سریال در حالت API [۱۲] | ۱۷ | ۹-۲ |
| پلتفرم متن باز پایگاه داده سری زمانی InfluxDB [۱۴] | ۱۸ | ۱۰-۲ |

فهرست جداول

صفحه

جدول

۱-۲ مقایسه بین دو نوع حسگر مبتنی بر پیزوالکتریک و MEMS [۵] ۶

فهرست نمادها

| نماد | مفهوم |
|---------------------|---------------------------------------------------|
| \mathbb{R}^n | فضای اقلیدسی با بعد n |
| \mathbb{S}^n | کره n بعدی |
| M^m | خمینه m -بعدی M |
| $\mathfrak{X}(M)$ | جبر میدان‌های برداری هموار روی M |
| $\mathfrak{X}^1(M)$ | مجموعه میدان‌های برداری هموار 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 | ۲-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 تعمیر و نگهداری

در دنیای نوین امروز، وابستگی به فناوری و صنایع مختلف برای ارائه خدمات و تولید محصولات مورد نیاز بشدت افزایش یافته است. در نتیجه این افزایش، تعداد کارخانه‌ها و تجهیزات برای رفع این نیازها نیز افزایش یافته است. همه تجهیزات و وسایل پس از استفاده زیاد دچار نقص و فراوانی می‌شوند. خرابی تجهیزات در کارخانه‌ها و خطوط تولید پدیده‌ای نامطلوب است. خرابی تجهیزات باعث ایست خط تولید و وارد کردن ضرر مالی به صاحبان کارخانه‌ها خواهد شد. به همین دلیل، تعمیر و نگهداری تجهیزات اهمیت بالایی دارد.

سیاست‌های انجام تعمیرات و نگهداری به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند؛ که در شکل ۱-۱ [۱] آورده شده است:



شکل ۱-۱: سیاست‌های انجام تعمیرات و نگهداری [۱]

این سیاست‌ها عبارتند از:

- نگهداری اصلاحی^۱: این نوع نگهداری با اتفاق افتادن خرابی رخ می‌دهد و تنها در صورت خرابی قطعه تعمیر انجام می‌شود. همانطور که مشخص است در این حالت روند کارکرد عادی متوقف می‌شود؛ به علاوه، در این حالت تعمیر می‌تواند با تاخیر انجام شود زیرا ممکن است در لحظه قطعات مورد نیاز برای تعمیر موجود نباشد. از این سیاست بیشتر به عنوان مکملی برای سیاست‌های بعدی استفاده می‌شود [۱].

- نگهداری پیش‌گیرانه^۲: در این حالت، نگهداری و تعمیر بر اساس رابطه بین نرخ خرابی، توزیع زمان خرابی و سایر آستانه‌هایی که از تعداد زیادی از آمارهای خرابی بدست می‌آید زمان‌بندی می‌شود. در واقع در این نوع نگهداری هدف کاهش احتمال خرابی قطعات است. این نوع نگهداری

^۱Corrective Maintenance

^۲Preventive Maintenance

با توجه به نوع اطلاعات به سیاست‌های وابسته عمر،^۳ سیاست‌های دوره‌ای^۴، سیاست‌های ترتیبی^۵ و سیاست‌های محدودکننده خرابی^۶ تقسیم می‌شوند [۱].

• نگهداری پیش‌بینانه^۷: این نوع نگهداری بر روند کاهش کارایی قطعات با استفاده از وضعیت آنها نظارت کرده، وضعیت آنها را در آینده پیش‌بینی می‌کند و مداوم برنامه تعمیر و نگهداری را بروزرسانی می‌کند، تا اینکه شرایط توقف بروزرسانی برآورده شود. با توجه به این ویژگی، این سیاست فقط برای تجهیزاتی که وضعیت آنها قابل نظارت است می‌تواند استفاده شود [۸].

۲-۱ راهکار پیشنهادی

با توجه به اهمیت نگهداری و نقش نگهداری اصولی در کاهش هزینه، در این پروژه به ایجاد چارچوبی مناسب برای ارائه راهکاری بر مبنای سیاست نگهداری پیش‌بینانه می‌پردازیم. یکی از نیازهای این سیاست حجم زیادی از داده جمع‌آوری شده از وضعیت تجهیزات برای پیش‌بینی دقیق است. در این پروژه در بستر اینترنت اشیاء^۸ داده‌های لرزش با استفاده از سنسور MEMS^۹ جمع‌آوری شده و در زمان‌های مشخص با استفاده از پروتکل زیگبی^{۱۰} برای دروازه^{۱۱} فرستاده می‌شود. پس از جمع‌آوری حجم مشخصی از داده‌ها اطلاعات برای پردازش بیشتر به سرور فرستاده می‌شوند. در انتها نیز اطلاعات پردازش شده و تخمین عمر مفید باقیمانده^{۱۲} در یک صفحه وب نمایش داده می‌شود.

۳-۱ کارهای مشابه

در [۲] مدلی برای خرابی قطعات مبتنی بر میزان استفاده از تجهیزات و بار داخلی آنها ارائه شده است اما مدل ارائه شده محدود به یک مدل تجهیزات است و برای استفاده در سایر مدل‌ها نظارت مجدد لازم است. در [۳] رویکردی مبتنی بر شبکه عصبی جهت پیش‌بینی عمر مفید باقیمانده تجهیزات چرخشی

³ Age Dependent Strategies

⁴ Periodic Strategies

⁵ Sequential Strategies

⁶ Failure Limited Strategies

⁷ Predictive Maintenance

⁸ Internet of Things

⁹ Micro Electric Mechanical Sensor

¹⁰ Zigbee Protocol

¹¹ Gateway

¹² Remaining Useful Lifetime(RUL)

ارائه شده است اما تنها مختص به این دسته از تجهیزات است. در [۴] رویکردی مبتنی بر شبکه عصبی جهت پیش‌بینی زمان نگهداری و تعمیرات تجهیزات بر اساس مدل خرابی و کارایی آنها ارائه می‌شود اما در یک محیط شبیه‌سازی شده و کنترل شده آزمایش شده است و در هنگام استفاده در محیط واقعی غیر عملی است.

بطور کلی در پژوهش‌های یاد شده رویکردهای ارائه شده مختص نوع خاصی از تجهیزات است و در یک محیط آزمایشگاهی و کنترل شده ارزیابی شده‌اند. در حالیکه در این پروژه با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از قطعات مختلف سعی کرده‌ایم رویکردی کلی و مناسب محیط واقعی و صنعتی ارائه دهیم.

فصل دوم

مفاهیم پایه و تجهیزات

در این فصل به بررسی مفاهیم و تجهیزاتی که در این پروژه استفاده شده است می‌پردازیم. در هر بخش دلیل انتخاب خود را شرح می‌دهیم و آن را با سایر راه‌حل‌ها مقایسه می‌کنیم.

۱-۲ حسگر

همانطور که گفته شد برای پیش‌بینی نگهداری و عمر مفید تجهیزات نیاز به نظارت و جمع‌آوری اطلاعاتی راجع به این تجهیزات داریم. در این پروژه، اطلاعات جمع‌آوری شده مربوط به وضعیت لرزش تجهیزات است که با استفاده از حسگرهای لرزش MEMS اندازه‌گیری می‌شوند.

در این پروژه تصمیم گرفتیم که بجای دما یا رطوبت از لرزش تجهیزات برای پیش‌بینی استفاده کنیم؛ زیرا لرزش برخلاف دو معیار دیگر بطور مستقیم شرایط عملیاتی تجهیزات را منعکس می‌کند که بیشتر بر اساس رفتارهای مکانیکی مانند چرخش موتور یا حرکت جریان در لوله ایجاد می‌شوند. هم‌چنین دو معیار دیگر وابستگی زیادی به محیط دارند اما لرزش تقریباً مستقل از عوامل خارجی است [۵].

برای اندازه‌گیری لرزش دو نوع حسگر لرزش وجود دارد. حسگرهای مبتنی بر شتاب‌سنج MEMS بر اکثر محدودیت‌های حسگرهای قدیمی مبتنی بر شتاب‌سنج پیزوالکتریک^۱ غلبه می‌کنند. تفاوت این دو حسگر را می‌توان در جدول ۱-۲ [۵] دید.

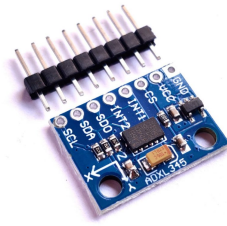
جدول ۱-۲: مقایسه بین دو نوع حسگر مبتنی بر پیزوالکتریک و MEMS [۵]

| MEMS | پیزوالکتریک | |
|------------------|-----------------|-----------------|
| ۱۰+ | ۳۰۰+ | قیمت (دلار) |
| ۳ | ۲۷ | توان مصرفی (mW) |
| ۰۵/۰ × ۲/۰ × ۲/۰ | ۱ × ۹۸/۰ × ۹۷/۱ | اندازه (اینچ) |
| ۴۰۰۰ | ۷۰۰ | تراکم نویز (μg) |
| ۱۰۰ | ۱۰ | بازه شتاب (g) |

بطور کلی حسگرهای نوع MEMS ارزان‌تر، کم‌مصرف‌تر و کوچک‌تر هستند. در این پروژه حسگرها با باتری کار خواهند کرد و برای اندازه‌گیری به قطعات مورد نظر متصل می‌شوند. بنابراین کم‌مصرف بودن، ارزانی و کوچک بودن برای اتصال به بدنه و ویژگی‌های مطلوبی است که در حسگرهای نوع MEMS یافت می‌شود. شکل ۱-۲ حسگر مدل ADXL 345 که در این پروژه استفاده کرده‌ایم.

این حسگر می‌تواند شتاب را در سه جهت، در چهار بازه قابل تنظیم ۲، ۴، ۸ و ۱۶ برابر گرانش با

¹Piezoelectric

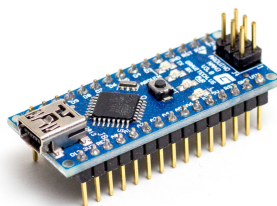


شکل ۲-۱: حسگر مدل ADXL 345

دقت‌های متفاوت اندازه‌گیری کند. خروجی این حسگر نیز با دو پروتکل SPI^۲ و I2C قابل انتقال است.

۲-۲ گره انتهایی

برای کاهش بیشتر مصرف انرژی، دریافت اطلاعات حسگر و فرستادن آن برای دروازه به یک برد^۳ نیاز داریم. بوردهای آردوینو^۴ اگرچه محدودیت‌هایی دارند، اما با توجه به ارزان بودن و برآورده کردن نیاز ما انتخاب مناسبی هستند. برد استفاده شده در این پروژه آردوینو نانو است که در شکل ۲-۲ قابل مشاهده است. در این برد از پورت سریال^۵ برای ارتباط با ماژول زیگبی^۶ و از پروتکل I2C برای ارتباط با حسگر استفاده می‌کنیم. یکی از محدودیت‌های این برد حافظه کم است که در نرخ‌های بالای نمونه‌برداری حسگر کار ما را سخت می‌کند که در فصل بعد بیشتر به آن می‌پردازیم.



شکل ۲-۲: برد آردوینو نانو

^۲Serial Peripheral Interface

^۳Board

^۴Arduino

^۵Serial Port

^۶Zigbee Module

۳-۲ پروتکل ارتباطی

برای ارسال اطلاعات از گره‌های متصل به حسگر به دروازه نیاز به یک پروتکل ارتباطی داریم. نیازهای ما در رابطه با این پروتکل عبارتند از:

- کم‌مصرف بودن: با توجه به اینکه گره‌های ما به باتری متصل هستند، به پروتکلی نیاز داریم که در مصرف انرژی بسیار بهینه عمل کند تا بتوان بدون تعویض باتری اطلاعات را تا چند سال برای دروازه فرستاد.
 - پوشش و نفوذ سیگنال: در هر کارخانه یک دروازه نصب شده است، کارخانه‌ها مساحتی متوسط دارند و مانع خاصی نیز در آنها وجود ندارد. پس نیاز به پوشش یا قدرت نفوذ بالایی در سیگنال ارسالی نداریم.
 - توپولوژی^۷: با توجه به وجود یک دروازه و چندین گره که همگی اطلاعات را برای دروازه ارسال می‌کنند، نیاز به پروتکلی داریم که از توپولوژی ستاره پشتیبانی کند.
 - ارتباط مطمئن^۸: ارسال ناقص و یا از دست دادن اطلاعات حسگرها می‌تواند باعث پیش‌بینی اشتباه شود. بنابراین، به پروتکلی با قابلیت ارتباط مطمئن و کنترل خطا نیاز داریم.
- در شکل ۳-۲ پروتکل‌های ارتباطی با معیارهای مختلف مقایسه شده‌اند. بر اساس ویژگی‌های مورد نیاز پروتکل زیگبی انتخاب مناسب‌تری نسبت به سایر پروتکل‌ها است که در ادامه آن را معرفی می‌کنیم.

۱-۳-۲ استاندارد زیگبی

زیگبی یکی از استانداردهای فرستنده-گیرنده^۹ در شبکه‌های حسگر بی‌سیم^{۱۰} است که بصورت گسترده مورد استفاده قرار گرفته است. زیگبی بر روی IEEE802.15.4 مشخصات شبکه شخصی بی‌سیم با نرخ داده پایین^{۱۱} را تعریف می‌کند تا بتواند از دستگاه‌های نظارتی و کنترلی با توان مصرفی و نرخ داده پایین پشتیبانی کند. زیگبی توسط اتحاد زیگبی^{۱۲} توسعه داده شده است؛ که صدها عضو دارد. اتحاد زیگبی

⁷Topology

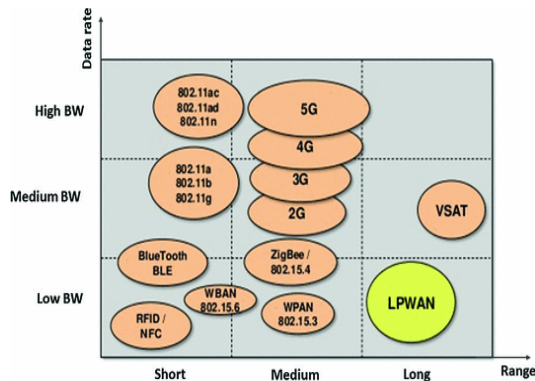
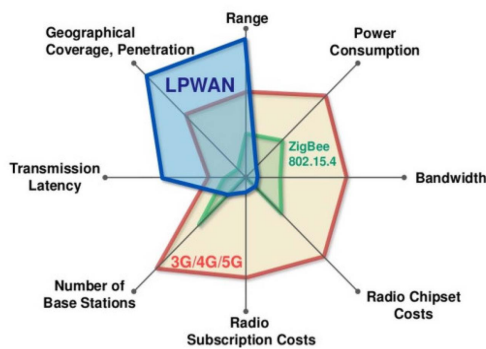
⁸Reliable Communication

⁹Tranceiver

¹⁰Wireless Sensor Network

¹¹Low Rate Wireless Personal Area Network(LR-WPAN)

¹²Zigbee Alliance



(آ) مقایسه بر حسب نرخ داده و بازه پوشش [۶] (ب) مقایسه بر حسب انرژی، بازه پوشش، نفوذ، تاخیر، هزینه و پهنای باند [۷]

شکل ۲-۳: مقایسه پروتکل زیگبی و سایر پروتکل‌های اینترنت اشیاء

لایه‌های شبکه، امنیت و برنامه و IEEE802.15.4 لایه‌های سخت‌افزار و کنترل دسترسی به رسانه^{۱۳} را تعریف می‌کنند[۸].

استاندارد شبکه بی‌سیم زیگبی جای خالی‌ای را در بازار پر می‌کند که توسط سایر شرکت‌ها نادیده گرفته شده‌است. اکثر استانداردهای بی‌سیم به دنبال نزدیک‌شدن به اینترنت و رسیدن به سرعت‌های بالاتر هستند. اما زیگبی در تلاش است تا با ارائه نرخ ارسال پایین‌تر انتظار مصرف انرژی پایین را برآورده کند. سایر استانداردها به دنبال افزودن ویژگی^{۱۴}های بیشتر و ارائه خدماتی نظیر استریم با کیفیت بالا^{۱۵} هستند؛ درحالی‌که زیگبی با پشته^{۱۶}ی کوچک تنها هدف دارد که بتوان داده‌هایی با حجم کم و تعداد پایین مانند کنترل چراغ یا خواندن داده‌های سنسور دما را ارسال کرد[۹].

۲-۳-۲ ویژگی‌های زیگبی

قابلیت اطمینان بالا

ارتباطات بی‌سیم بطور کلی ارتباطات نامطمئنی هستند اما زیگبی در چند سطح قابلیت اطمینان بالایی فراهم می‌کند که عبارتند از:

¹³Media Access Control(MAC)

¹⁴Feature

¹⁵High-Definition Streaming

¹⁶Stack

- IEEE802.15.4: در آن از ترکیبی از فناوری‌هایی مانند ^{۱۷}O-QPSK و ^{۱۸}DSSS استفاده می‌شود که کارایی بسیار خوبی در محیط‌های با نرخ سیگنال به نویز پایین دارند [۹].
- CSMA-CA^{۱۹}: زیگی از این فناوری برای کنترل دسترسی به رسانه استفاده می‌کند. قبل از ارسال زیگی به کانال گوش می‌دهد. اگر کسی در حال ارسال نباشد، اطلاعات خود را ارسال می‌کند. این روند از تداخل اطلاعات فرستنده‌های مختلف و ایجاد نیاز برای ارسال دوباره جلوگیری می‌کند [۹].
- کنترل خطا: در هر فریم ^{۲۰} زیگی از CRC^{۲۱} ۱۶ بیتی بعنوان چک‌سام^{۲۲} استفاده می‌شود که قابلیت تشخیص خطا در هر فریم را ایجاد می‌کند [۹].
- فریم تایید: هر فریم در کل ۴ بار برای مقصد ارسال می‌شود (۳ بار ارسال مجدد). اگر باز هم فریم نتواند ارسال شود به مبدا اطلاع داده می‌شود [۹].

مصرف انرژی پایین

ماژول‌های زیگی در مصرف انرژی بسیار بهینه هستند. یک شبکه زیگی می‌تواند تا چند سال تنها با استفاده از باتری عمل کند. اگر استفاده از زیگی به‌درستی مدیریت شود این زمان حتی می‌تواند به عمر باتری اگر بدون استفاده در قفسه بماند برسد. دلیل این استفاده کم این است که گره‌های زیگی می‌توانند به خواب بروند. نیازی به نگه‌داشتن ارتباط برای باقی‌ماندن در شبکه ندارند [۹].

امنیت بالا

زیگی با استفاده از استاندارد رمزگذاری پیشرفته^{۲۳} باعث می‌شود که تنها فرستنده و گیرنده از محتویات فریم اطلاع داشته باشند. همچنین روندی برای احراز هویت گره‌ها هنگام اضافه‌شدن به شبکه بکار می‌برد که مانع اضافه‌شدن گره‌های مخرب به شبکه می‌شود [۹].

¹⁷Offset-Quadrature Phase-Shift Keying

¹⁸Direct Sequence Spread Spectrum

¹⁹Carrier Sense Multiple Access Collision Avoidance

²⁰Frame

²¹Cyclic Redundancy Check

²²Checksum

²³Advanced Encryption Standard(AES)

۳-۳-۲ دسته‌بندی دستگاه‌ها

دسته‌بندی فیزیکی

با توجه به توانایی‌های پردازشی دو نوع دستگاه در IEEE802.15.4 آورده شده‌است:

- دستگاه با عملکرد کامل^{۲۴}: این دستگاه‌ها توانایی انجام همه‌ی اعمال استاندارد مانند مسیریابی^{۲۵}، هماهنگی^{۲۶} و ارسال اطلاعات حسگر را دارند. در استاندارد فعلی این دستگاه‌ها باید همیشه روشن باشند[۸].
- دستگاه با عملکرد کاهش‌یافته^{۲۷}: این دستگاه‌ها تنها توانایی ارسال داده‌های حسگر را دارند و می‌توانند به خواب بروند[۸].

دسته‌بندی منطقی

در این دسته‌بندی سه نوع دستگاه وجود دارد:

- هماهنگ‌کننده: ریشه درخت شبکه را تشکیل می‌دهد و می‌تواند به شبکه‌های دیگر متصل شود. در هر شبکه دقیقاً یک هماهنگ‌کننده وجود دارد. هماهنگ‌کننده مسئول راه‌اندازی شبکه و انتخاب پارامترهای شبکه مانند کانال فرکانس رادیویی^{۲۸}، شناسه یکتای شبکه و تنظیم سایر پارامترهای عملیاتی است. همچنین می‌تواند اطلاعات مربوط به شبکه و کلیدهای امنیتی را ذخیره کند[۸].
- مسیریاب: مسیریاب بعنوان گره میانی عمل می‌کند و داده‌ها را از دستگاه‌های دیگر منتقل می‌کند. مسیریاب می‌تواند به یک شبکه از قبل موجود متصل شود، همچنین می‌تواند درخواست اتصال سایر دستگاه‌ها را بپذیرد و نوعی فرستنده مجدد به شبکه باشد[۸].
- گره پایانی: این دستگاه می‌تواند دستگاه‌های کم‌مصرف یا با باتری باشد. آنها می‌توانند اطلاعات مختلفی را از حسگرها جمع‌آوری کنند و عملکرد کافی برای صحبت با والدین خود(هماهنگ‌کننده یا مسیریاب) را دارند اما نمی‌توانند داده‌ها را از دستگاه‌های دیگر ارسال کنند. این عملکرد

²⁴Fully Functional Device(FFD)

²⁵Routing

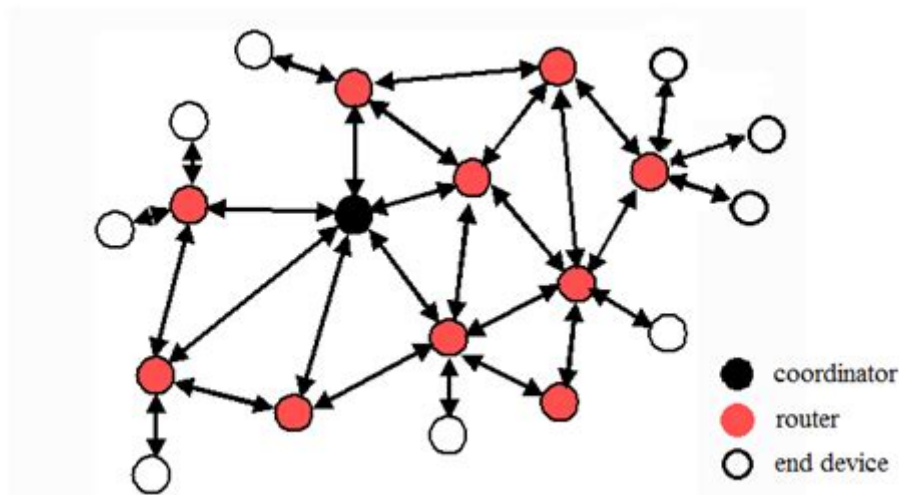
²⁶Coordination

²⁷Reduced Functional Device(RFD)

²⁸Radio Frequency Channel

کاهش یافته امکان کاهش هزینه را فراهم می کند. این دستگاه‌ها مجبور نیستند تمام مدت بیدار بمانند، درحالیکه دستگاه‌های متعلق به دو دسته دیگر باید بیدار بمانند [۸].

در شکل ۴-۲ [۱۰] می توان یک شبکه زیگبی را که شامل یک هماهنگ کننده، چند مسیر یاب و چند گره پایانی است را مشاهده کرد.



شکل ۴-۲: شبکه زیگبی شامل هماهنگ کننده، مسیر یاب و گره پایانی [۱۰]

۴-۳-۲ توپولوژی

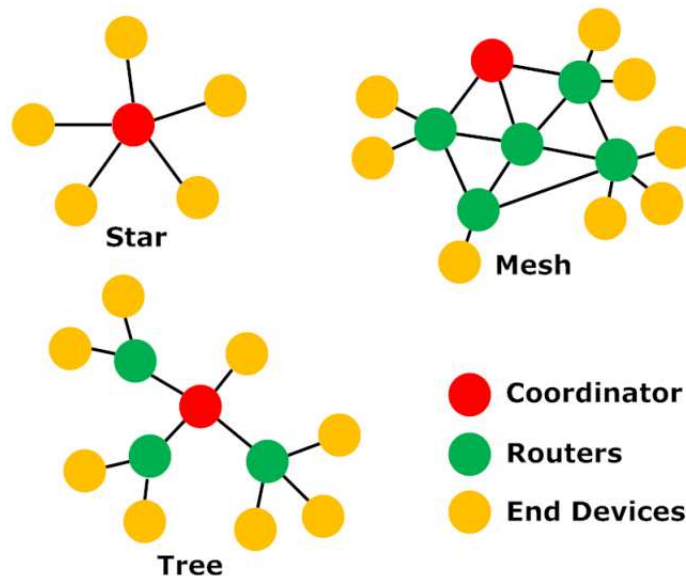
در زیگبی می توان سه توپولوژی زیر را داشت:

- ستاره: توپولوژی ستاره از یک هماهنگ کننده و تعدادی دستگاه پایانی تشکیل شده است. در توپولوژی ستاره، یک مدل شبکه master slave اتخاذ می شود که در آن master هماهنگ کننده و دستگاهی با عملکرد کامل است و slave دستگاهی با عملکرد کامل یا کاهش یافته است. دستگاه‌های انتهایی زیگبی بصورت فیزیکی و الکتریکی از یکدیگر جدا می شوند و اطلاعات را تنها از طریق هماهنگ کننده منتقل می کنند [۸].

- درخت خوشه ای^{۲۹}: این توپولوژی مانند توپولوژی ستاره است، با این تفاوت که در این توپولوژی سایر دستگاه‌ها می توانند با یکدیگر ارتباط برقرار کنند تا دستگاه‌های بیشتری بتوانند به دستگاه‌های با عملکرد کامل و غیر هماهنگ کننده متصل شوند تا بتوان شبکه را از لحاظ جغرافیایی گسترش داد [۸].

²⁹Cluster Tree

- مش^{۳۰}: در توپولوژی مش، هر گره می‌تواند با هر گره دیگری در محدوده‌ی خود ارتباط برقرار کند. توپولوژی مش برای نگهداری پیچیده است اما نسبت به خطا مقاوم‌تر و قابل تحمل‌تر است [۸].
- در شکل ۵-۲ [۱۱] می‌توان نقش گره‌های مختلف در توپولوژی‌های ذکر شده را مشاهده کرد.



شکل ۵-۲: توپولوژی‌های مختلف شبکه زیگبی [۱۱]

۵-۳-۲ دیجی بین‌الملل

دijی بین‌الملل^{۳۱} نام یکی از تولیدکنندگان ماژول‌های زیگبی است. ماژولی که ما در این پروژه استفاده می‌کنیم تولید این شرکت است. مدل این ماژول Digi XBee S2 است که می‌توان تصویر آن را در شکل ۶-۲ مشاهده کرد.

۶-۳-۲ طرز کار دستگاه‌های ایکس‌بی

دستگاه‌های ایکس‌بی از طریق هوا با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند و پیام‌ها را به شکل بی‌سیم ارسال و دریافت می‌کنند. دستگاه‌ها فقط می‌توانند پیام‌ها را منتقل کنند ولی نمی‌توانند آنها را مدیریت کنند. با این حال، ماژول‌ها می‌توانند با دستگاه‌های هوشمند از طریق رابط سریال ارتباط برقرار کنند. دستگاه‌های ایکس‌بی داده‌های ورودی سریال را از طریق هوا منتقل می‌کنند و هر چیزی را که بصورت بی‌سیم دریافت می‌شود به خروجی سریال می‌فرستند. چه برای مقاصد ارتباطی و چه صرفاً برای

³⁰Mesh

³¹Digi International



شکل ۲-۶: ماژول زیگبی مدل XBee S2

پیکربندی دستگاه، ترکیبی از هر دو فرایند برای برقراری ارتباط لازم است. به این صورت، دستگاه‌های هوشمند مانند میکروکنترلر^{۳۲}ها یا رایانه‌های شخصی می‌توانند آنچه را که دستگاه ارسال می‌کند کنترل کرده و پیام‌های دریافتی و ارسالی را مدیریت کنند [۱۲].

دو فرایند لازم برای ارتباط را می‌توان در شکل ۲-۷ [۱۲] دید که عبارتند از:

- ارتباط بی‌سیم: این ارتباط بین ماژول‌های ایکس‌بی انجام می‌شود. ماژول‌هایی که قرار است با هم کار کنند باید بخشی از یک شبکه باشند و باید از یک فرکانس رادیویی استفاده کنند. همه ماژول‌هایی که این الزامات را برآورده می‌کنند می‌توانند بصورت بی‌سیم با یکدیگر ارتباط برقرار کنند.
- ارتباط سریال: این ارتباط بین ماژول ایکس‌بی و دستگاه هوشمند متصل به آن از طریق رابط سریال صورت می‌گیرد.



شکل ۲-۷: فرایندهای لازم برای ارتباط دو ماژول ایکس‌بی [۱۲]

³²Microcontroller

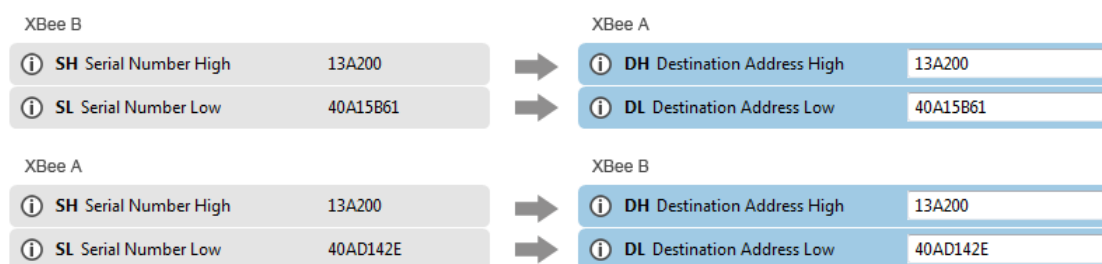
۷-۳-۲ ارتباط سریال ماژول‌های ایکس‌بی

دستگاه‌های ایکس‌بی می‌توانند از اتصال سریال محلی خود به روش‌های بسیار متفاوتی استفاده کنند. حالت عملیاتی نحوه ارتباط دستگاه میزبان با ماژول ایکس‌بی را از طریق رابط سریال تعیین می‌کند. این حالت‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند که در ادامه به شرح هر کدام می‌پردازیم.

حالت شفاف

هنگام کار در حالت شفاف^{۳۳}، یک ماژول ایکس‌بی بعنوان جایگزین خط سریال عمل می‌کند. تمام داده‌های دریافت‌شده از طریق ورودی سریال بلافاصله از طریق هوا منتقل می‌شود. هنگامی که ماژول ایکس‌بی داده‌های بی‌سیم را دریافت می‌کند، از طریق رابط سریال به همان شکل محل دریافت‌شده ارسال می‌شود. در واقع، ارتباط در حالت شفاف مانند آن است که دو ماژول توسط یک سیم به هم متصل شده باشند^[۱۲].

برای ارتباط دو ماژول ایکس‌بی، ماژول ارسال‌کننده به آدرس گیرنده نیاز دارد. هنگام کار در حالت شفاف، باید این آدرس را در ماژولی که در حال ارتباط است پیکربندی کرد. ماژول‌های ایکس‌بی می‌توانند آدرس ۶۴ بیتی کامل ماژول مقصد را ذخیره کنند^[۱۲]. این آدرس باید در دو پارامتر نوشته شود: آدرس مقصد بالا^{۳۴} و آدرس مقصد پایین^{۳۵}. بعنوان مثال برای ارتباط دو ماژول در این حالت باید مثل شکل ۸-۲^[۱۲] دو ماژول را پیکربندی کرد.



شکل ۸-۲: ارتباط سریال در حالت شفاف^[۱۲]

حالت شفاف محدودیت‌هایی دارد. بعنوان مثال، هنگام کار با چند ماژول، باید قبل از ارسال هر پیام، مقصد را پیکربندی کرد. با این حال، حالت شفاف به دلایل زیر راهی آسان برای شروع کار با دستگاه‌های ایکس‌بی فراهم می‌کند:

³³Transparent Mode

³⁴Destination Address High(DH)

³⁵Destination Address Low(DL)

- عملیات بسیار ساده است.
- آنچه ارسال می‌شود دقیقاً همان چیزی است که در مازول دیگر دریافت می‌شود.
- سازگار با هر دستگاهی است که بتواند از طریق یک رابط سریال ارتباط برقرار کند.

حالت API

حالت API یک رابط ساختاریافته را فراهم می‌کند که در آن داده‌ها از طریق رابط سریال در بسته‌های سازماندهی شده و به ترتیب تعیین شده ارتباط برقرار می‌کنند. این روند اجازه می‌دهد بدون نیاز به تعریف پروتکل، ارتباط پیچیده بین دستگاه‌ها برقرار کرد [۱۲].

در حالت شفاف تمام داده‌های دریافت شده از طریق ورودی سریال برای ارسال رادیویی در صف قرار می‌گیرند و داده‌های دریافت شده به صورت بی‌سیم دقیقاً همان‌طور که دریافت شده‌اند، بدون اطلاعات اضافی به خروجی سریال ارسال می‌شوند [۱۲].

به دلیل این رفتار، دستگاه‌هایی که در حالت شفاف کار می‌کنند محدودیت‌هایی دارند:

- برای خواندن یا نوشتن پیکربندی یک دستگاه در حالت شفاف، ابتدا باید دستگاه را به حالت فرمان تغییر داد.
- اگر دستگاهی نیاز به انتقال پیام به دستگاه‌های مختلف داشته باشد، باید پیکربندی آن برای ایجاد یک مقصد جدید بروز شود. دستگاه باید برای تنظیم مقصد وارد حالت فرمان شود.
- دستگاهی که در حالت شفاف کار می‌کند نمی‌تواند منبع پیام بی‌سیمی را که دریافت کرده شناسایی کند. اگر نیاز به تمایز بین داده‌های دریافتی از دستگاه‌های مختلف باشد، دستگاه‌های فرستنده باید شامل اطلاعات اضافی شناخته شده توسط همه دستگاه‌ها باشند تا بتوان بعداً آنها را استخراج کرد.

حالت API راه بسیار آسان‌تری برای انجام اقدامات ذکر شده ارائه می‌دهد:

- از آنجایی که فریم‌های مختلفی برای اهداف مختلف (مانند پیکربندی و ارتباط) وجود دارد، می‌توان یک دستگاه را بدون وارد شدن به حالت فرمان پیکربندی کرد.
- از آنجایی که مقصد داده بعنوان بخشی از ساختار فریم API گنجانده شده است، می‌توان از حالت API برای انتقال پیام‌ها به چندین دستگاه استفاده کرد.

- فریم API همانطور که در شکل ۹-۲ [۱۲] نشان داده شده است، شامل منبع پیام است. بنابراین تشخیص اینکه داده‌ها از کجا آمده‌اند آسان است.



شکل ۹-۲: ارتباط سریال در حالت API [۱۲]

۴-۲ پایگاه داده‌ی سری زمانی

سری زمانی یک توالی مرتب‌شده از مقادیر یک متغیر در فواصل زمانی مساوی است. بنابراین سری زمانی یک توالی از داده‌های زمان گسسته است [۱۳]. داده‌های لرزش جمع‌آوری شده در این پروژه نیز از نوع سری زمانی هستند. جهت ذخیره‌سازی، پردازش و مدیریت بهینه این داده‌ها نیاز به یک پایگاه داده داریم.

InfluxDB یک پایگاه داده سری زمانی بدون طرحواره^{۳۶} منبع باز با اجزای اختیاری منبع بسته است که توسط InfluxData توسعه یافته است. این به زبان برنامه‌نویسی گو^{۳۷} نوشته شده است و برای مدیریت داده‌های سری زمانی بهینه شده است. این یک زبان پرس و جو^{۳۸} مانند SQL را ارائه می‌دهد. نسخه منبع باز که در شکل ۱۰-۲ [۱۴] نشان داده شده است، یک پلتفرم پایگاه داده سری زمانی کامل را با خدمات مختلف از جمله هسته InfluxDB فراهم می‌کند و می‌تواند بر روی ابر و در محل روی یک گره واحد اجرا شود.

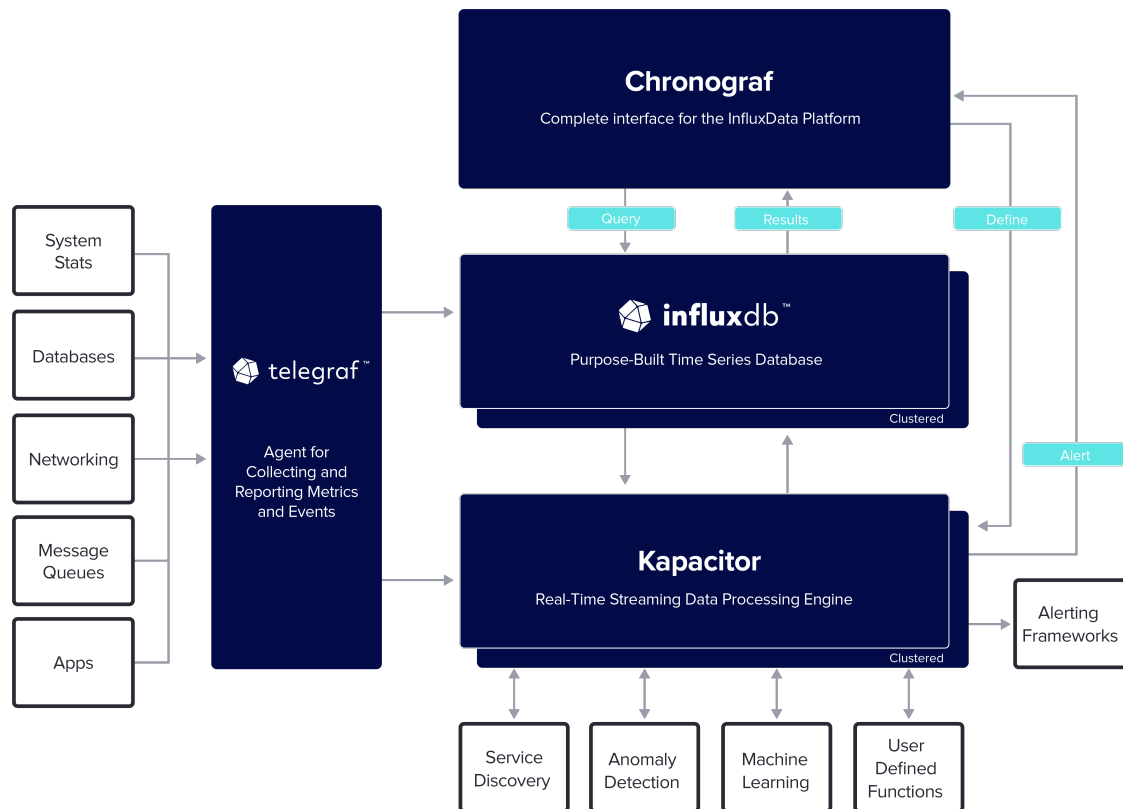
استفاده از پایگاه داده InfluxDB برتری‌هایی نسبت به سایر پایگاه داده‌ها دارد که باعث شد ما از آن برای ذخیره داده‌های لرزش استفاده کنیم. این برتری‌ها عبارتند از:

- طراحی اختصاصی برای داده‌های سری زمانی و عملکرد بهینه در خواندن و نوشتن این داده‌ها.
- افزودنی‌های رایگان و متعدد مانند HTTP API که باعث تسریع و راحتی توسعه می‌شود.

³⁶Schemaless

³⁷Go

³⁸Query Language



شکل ۲-۱۰: پلتفرم متن باز پایگاه داده سری زمانی InfluxDB [۱۴]

- پشتیبانی از تعداد بالای زبان‌های برنامه‌نویسی.
- پشتیبانی از زبان پرس و جویی مانند SQL بنام InfluxQL که یادگیری و پیاده‌سازی را راحت‌تر می‌کند.

۵-۲ پیش‌پردازش

داده‌های جمع‌آوری‌شده در دروازه قبل از تحویل به مدل هوش مصنوعی نیاز به برخی پیش‌پردازش‌ها دارند. زبان برنامه‌نویسی انتخابی ما پایتون^{۳۹} است. این زبان به دلیل راحتی در توسعه و وجود کتابخانه‌های زیاد در حوزه هوش مصنوعی انتخاب شده است.

کتابخانه‌ی استفاده‌شده برای پیش‌پردازش داده‌ها نامپای^{۴۰} نام دارد. نامپای یک کتابخانه منبع باز^{۴۱} توسعه‌یافته توسط جامعه^{۴۲} است که یک شیء آرایه پایتون چندبعدی را به همراه توابع مرتبط با آرایه که

³⁹Python

⁴⁰NumPy

⁴¹Open Source

⁴²Community-Developed

روی آن کار می‌کنند ارائه می‌دهد. نامپای در پردازش عددی از طریق `ndarray`های چندبعدی تخصص دارد، جایی که آرایه‌ها اجازه عملیات عنصر به عنصر^{۴۳} یا پخش^{۴۴} را می‌دهند. در صورت نیاز، جبر خطی را می‌توان بدون از قبل تغییر دادن آرایه‌های نامپای استفاده کرد. علاوه بر این، اندازه آرایه‌ها را می‌توان بصورت پویا تغییر داد. این مسئله نگرانی‌هایی را که معمولاً برنامه‌نویسی سریع در زبان‌های دیگر را سردرگم می‌کند، از بین می‌برد [۱۵، ۱۶].

۲-۶ برنامه‌ی تحت وب

پس از دریافت داده‌های جمع‌آوری شده در دروازه و انجام مراحل پیش‌پردازش لازم، اکنون داده‌ها در اختیار مدل یادگیری ماشینی قرار می‌گیرد تا طول عمر مفید باقیمانده‌ی تجهیزات را پیش‌بینی کند. ما برنامه‌ی وبی را برای نمایش به متخصصان پیاده‌سازی کرده‌ایم تا بتوانند تعمیر و نگهداری بعدی خود را طبق پیش‌بینی برنامه‌ریزی کنند. برای پیاده‌سازی برنامه‌ی تحت وب ما از چارچوب ویو^{۴۵} استفاده کرده‌ایم.

ویو یک چارچوب متری^{۴۶} برای ساخت رابط‌های کاربری است. برخلاف سایر چارچوب‌های یکپارچه، ویو از ابتدا به گونه‌ای طراحی شده است که برای رویکرد افزایشی قابل‌پذیرش باشد. هسته‌ی کتابخانه فقط بر روی لایه‌ی نما^{۴۷} متمرکز است و براحتی قابل‌انتخاب و ادغام با کتابخانه‌های دیگر یا پروژه‌های موجود است. از سوی دیگر، ویو قادر است برنامه‌های پیچیده تک صفحه‌ای را در ترکیب با ابزارهای نوین و کتابخانه‌های پشتیبان ایجاد کند [۱۷].

ویو دو ویژگی اصلی دارد:

- تفسیر اعلامی^{۴۸}: ویو HTML استاندارد را با استفاده از نحو `template` گسترش می‌دهد که امکان توصیف صریح خروجی HTML بر اساس وضعیت جاوا اسکریپت^{۴۹} را فراهم می‌کند.
- واکنش‌پذیری^{۵۰}: ویو بطور خودکار وضعیت جاوا اسکریپت را دنبال می‌کند و در صورت تغییر، مدل

⁴³Element by Element

⁴⁴Broadcast

⁴⁵Vue Framework

⁴⁶Progressive

⁴⁷View Layer

⁴⁸Declarative Rendering

⁴⁹JavaScript

⁵⁰Reactivity

سند شیء^{۵۱} را بروزرسانی می‌کند.

ویو چارچوب و اکوسیستمی است که اکثر ویژگی‌های مشترک مورد نیاز در توسعه سمت کاربر را پوشش می‌دهد. اما وب بسیار متنوع است. چیزهایی که در وب می‌سازیم ممکن است از نظر شکل و مقیاس بسیار متفاوت باشند. با توجه به این موضوع، ویو به‌شکلی طراحی شده است که منعطف باشد. اما با وجود انعطاف‌پذیری دانش اصلی در مورد نحوه عملکرد ویو در همه کاربردها یکسان است [۱۷]. این ویژگی‌ها چارچوب ویو را به چارچوبی کاربردی، کم‌حجم و آسان برای یادگیری تبدیل می‌کند.

⁵¹Document Object Model

منابع و مراجع

- [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] Tinga, Tiedo. Application of physical failure models to enable usage and load based maintenance. *Reliability engineering & system safety*, 95(10):1061–1075, 2010.
- [3] Wu, Sze-jung, Gebraeel, Nagi, Lawley, Mark A, and Yih, Yuehwern. A neural network integrated decision support system for condition-based optimal predictive maintenance policy. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 37(2):226–236, 2007.
- [4] Kaiser, Kevin A and Gebraeel, Nagi Z. Predictive maintenance management using sensor-based degradation models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 39(4):840–849, 2009.
- [5] Jung, Deokwoo, Zhang, Zhenjie, and Winslett, Marianne. Vibration analysis for iot enabled predictive maintenance. in *2017 ieee 33rd international conference on data engineering (icde)*, pp. 1271–1282. IEEE, 2017.
- [6] Carlsson, Anders, Kuzminykh, Ievgeniia, Franksson, Robin, and Liljegren, Alexander. Measuring a lora network: Performance, possibilities and limitations. in *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems: 18th International*

- Conference, NEW2AN 2018, and 11th Conference, ruSMART 2018, St. Petersburg, Russia, August 27–29, 2018, Proceedings 18*, pp. 116–128. Springer, 2018.
- [7] Tabbane, Sami. Iot systems overview. *International Telecommunication Union*, 2017.
- [8] Ramya, C Muthu, Shanmugaraj, Madasamy, and Prabakaran, R. Study on zigbee technology. in *2011 3rd international conference on electronics computer technology*, vol. 6, pp. 297–301. IEEE, 2011.
- [9] Gislason, Drew. *Zigbee wireless networking*. Newnes, 2008.
- [10] Song, SM and Yao, WJ. Research on the application value of wireless mesh network in power equipment of the upiot. in *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1346, p. 012046. IOP Publishing, 2019.
- [11] Salih, Mohammed A Abdala& Alaa Mohammed. Design and performance analysis of building monitoring system with wireless sensor networks. *Iraqi Journal of Science*, 53(4):1097–1102, 2012.
- [12] International, Digi. Xbee zigbee guide. <https://www.digi.com/resources/documentation/Digidocs/90001942-13/Default.htm>, 2022.
- [13] Naqvi, Syeda Noor Zehra, Yfantidou, Sofia, and Zimányi, Esteban. Time series databases and influxdb. *Studienarbeit, Université Libre de Bruxelles*, 12, 2017.
- [14] Influxdb. <https://www.influxdata.com/time-series-platform/>, Jun 2023.
- [15] Bressert, Eli. Scipy and numpy: an overview for developers. 2012.
- [16] Harris, Charles R, Millman, K Jarrod, Van Der Walt, Stéfan J, Gommers, Ralf, Virtanen, Pauli, Cournapeau, David, Wieser, Eric, Taylor, Julian, Berg, Sebastian, Smith, Nathaniel J, et al. Array programming with numpy. *Nature*, 585(7825):357–362, 2020.
- [17] Vue.js. <https://vuejs.org/guide/introduction.html>.

پیوست

موضوعات مرتبط با متن گزارش پایان نامه که در یکی از گروه‌های زیر قرار می‌گیرد، در بخش پیوست‌ها آورده شوند:

۱. اثبات‌های ریاضی یا عملیات ریاضی طولانی.
۲. داده و اطلاعات نمونه (های) مورد مطالعه (Case Study) چنانچه طولانی باشد.
۳. نتایج کارهای دیگران چنانچه نیاز به تفصیل باشد.
۴. مجموعه تعاریف متغیرها و پارامترها، چنانچه طولانی بوده و در متن به انجام نرسیده باشد.

کد میپل

```
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)
```

واژه‌نامه‌ی فارسی به انگلیسی

| | |
|----------------------------------|-------------------------------------------|
| آ | Cartesian product حاصل ضرب دکارتی |
| اسکالر Scalar | خ |
| ب | Automorphism خودریختی |
| بالابر Lift | د |
| پ | Degree درجه |
| پایا Invariant | ر |
| ت | microprocessor ریزپردازنده |
| تناظر Correspondence | ز |
| ث | Submodule زیرمدول |
| ثابت‌ساز Stabilizer | س |
| ج | Character سرشت |
| جایگشت Permutation | ص |
| چ | Faithful صادقانه |
| چند جمله‌ای Polynomial | ض |
| ح | |

| | |
|---------------------------|---------------------------------------------------|
| Connected همبند | Inner product ضرب داخلی |
| ی | ط |
| Edge یال | Loop طوقه |
| | ظ |
| | Valency ظرفیت |
| | ع |
| | Nonadjacency عدم مجاورت |
| | ف |
| | Vector space فضای برداری |
| | ک |
| | Complete reducibility کاملاً تحویل پذیر |
| | گی |
| | Graph گراف |
| | م |
| | Permutation matrix ماتریس جایگشتی |
| | ن |
| | Disconnected ناهمبند |
| | و |
| | Invertible وارون پذیر |
| | ه |

واژه‌نامه‌ی انگلیسی به فارسی

| | |
|---------------------------------|------------------------------------------|
| A | Homomorphism هم‌ریختی |
| Automorphism خودریختی | I |
| B | Invariant پایا |
| Bijection دوسویی | L |
| C | Lift بالابر |
| Cycle group گروه دوری | M |
| D | Module مدول |
| Degree درجه | N |
| E | Natural map نگاشت طبیعی |
| Edge یال | O |
| F | One to One یک به یک |
| Function تابع | P |
| G | Permutation group گروه جایگشتی |
| Group گروه | Q |
| H | |

| | | | |
|--------------------------|-----------------|-----------------------------|-------------|
| Quotient graph | گراف خارج‌قسمتی | Trivial character | سرشت بدیهی |
| R | | U | |
| Reducible | تحویل پذیر | Unique | منحصربفرد |
| S | | V | |
| Sequence | دنباله | Vector space | فضای برداری |
| T | | | |

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, ..