



مدل های انرژی end-to-end برای پلتفرم های IoT مبتنی بر رایانش مرزی:

کاربردی برای تجزیه و تحلیل جریان داده ها در IOT

نویسنده: سید علی حسینی یکتا

دانشجو دانشگاه افسری امام علی (ع) تهران رشته مدیریت

چکیده

اینترنت اشیا (IoT) تعداد زیادی از دستگاه های متصل را که تاثیر مستقیم بر روی رشد داده ها و خدمات energy-hungry دارند به ارمغان می آورد. این خدمات بر زیربنای ابر برای ذخیره سازی و قابلیت های محاسباتی تکیه دارند، تبدیل معماری به یک معماری توزیع شده بیشتر بر اساس امکانات edge توسط ارائه دهندگان خدمات اینترنت (ISP) ارائه شده است. با این حال، بین دستگاه IoT، ارتباطات شبکه و زیرساخت های ابر، مشخص نیست که کدام بخش مربوط به مصرف انرژی است. در این مقاله، مدل end-to-end برای سیستم های IoT مبتنی بر Edge Cloud را ارائه می دهیم. این مدل ها به یک سناریو اعمال می شوند: تجزیه و تحلیل جریان داده ها توسط دوربین های تعبیه شده در وسایل نقلیه. اعتبارسنجی، معیارها روی تست های واقعی را با شبیه سازی آن در شبیه سازهای شناخته شده برای مطالعه مقیاس بزرگی از دستگاه های IoT ارزیابی می کند. نتایج این سناریو نشان می دهد که، بخش لبه تعبیه شده در محاسبات منابع ۳ برابر بیش از دستگاه های IoT و نقطه دسترسی بی سیم مصرف می کند.

کلمات کلیدی: محاسبات Edge Cloud، بهره وری انرژی، IoT، مدل انرژی end-to-end، تجزیه و تحلیل جریان

داده ها



۱. مقدمه

در سال ۲۰۱۱، اریکسون و سیسکو اعلام کردند که تا سال ۲۰۲۰ به ۵۰ میلیارد دستگاه متصل به اینترنت دسترسی پیدا خواهیم کرد [۱،۲]. در واقع، دستگاه‌های متصل با زمینه‌های کاربردی در حال گسترش به طور پیوسته به زندگی روزمره ما حمله می‌کنند: تجهیزات بهداشت شخصی، ساختمان‌های هوشمند، شبکه‌های هوشمند، وسایل نقلیه متصل و غیره. این تعداد در سال ۲۰۱۶ کمتر از ۲۰ میلیارد دستگاه بود، از جمله دستگاه‌های اینترنت اشیا (IoT)، گوشی‌های هوشمند، تبلت و کامپیوترها [۳]. پیش‌بینی‌های فعلی حدود ۳۰ میلیارد دستگاه را تا ۲۰۲۰ برآورد می‌کنند [۳].

تمام این اشیاء، به شبکه‌های مخابراتی (به طور معمول اینترنت) متصل هستند و می‌توانند با سایر دستگاه‌های متصل یا با زیرساخت‌های محاسباتی توزیع شده، مانند ابرها، برای مثال، برای ذخیره اطلاعات و یا انجام محاسبات ارتباط برقرار کنند. رشد تعداد اشیاء متصل شده و پشتیبانی از زیرساخت تراکم چالش‌های علمی به ویژه در زمینه مدیریت مقیاس‌بندی، ناهمگونی شبکه‌های ارتباطی استفاده شده (اترنت، وای‌فای، G۳ و غیره)، مهاجرت محاسبات بین اشیاء و زیرساخت‌های حمایتی و انرژی آنها را به همراه دارد.

توسعه تجهیزات IoT (اینترنت اشیاء)، محبوبیت دستگاه‌های تلفن همراه و دستگاه‌های پوشیدنی جدید، فرصت‌های جدیدی را برای برنامه‌های کاربردی متمرکز در محیط محاسباتی Cloud فراهم می‌کند [۴]. از سال ۲۰۰۸، ایالات متحده آمریکا در شورای توافقنامه، IoT را در میان شش تکنولوژی که به احتمال زیاد بر قدرت ملی آمریکا تا سال ۲۰۲۵ تاثیر می‌گذارد فهرست می‌کند [۵]. تاثیر بالقوه‌ی IoT بر فراگیر بودن آن متکی است: باید سیستم یکپارچه‌ای را ایجاد کند تا تعداد بی‌شماری از اشیاء فیزیکی به اینترنت وصل شوند [۴]. مثال اساسی از چنین اشیائی شامل وسایل نقلیه و سنسورهای متعدد آنهاست.

در میان چالش‌های زیادی که توسط IoT مطرح شده است، در حال حاضر یکی از آنها توجه ویژه‌ای را به خود جلب کرده است: ساختن منابع محاسباتی که به راحتی از اشیاء متصل برای پردازش مقدار زیادی از داده‌ها که از آنها خارج می‌شوند قابل دسترسی هستند. محاسبات ابری در گذشته برای فعال کردن تعداد زیادی از برنامه‌های کاربردی استفاده



می‌شد. بنابراین می‌تواند به‌طور طبیعی توزیع داده‌های حسی، منابع جهانی و داده‌های مشترک، دسترسی به داده‌های از راه دور و در زمان واقعی، تامین منابع انعطاف‌پذیر و پویا پویا شدن و مدل‌های پرداخت را ارائه دهد [۶]. با این حال، نیاز به معماری محاسبات ابری متمرکز دارد که شامل محاسبات و گره‌های ذخیره‌سازی نصب شده در نزدیک کاربران و سیستم‌های فیزیکی است [۷]. چنین معماری ابر لبه‌ای نیاز به مقابله با انعطاف‌پذیری، مقیاس‌پذیری و مسائل مربوط به حفظ حریم خصوصی داده‌ها برای کارآمد بودن خدمات تخلیه محاسباتی دارد [۸].

درحالی‌که محاسبه تخلیه به لبه می‌تواند از نقطه نظر کیفیت خدمات (QoS) سودمند باشد، از چشم انداز انرژی، به منابع انرژی کارآمد کمتری از مرکز داده متمرکز ابر دارد [۹]. از سوی دیگر، با افزایش تعداد برنامه‌های در حال اجرا در ابر، ممکن است پاسخگویی به تقاضای انرژی رو به افزایش، غیر قابل قبول باشد و در حال حاضر رسیدن به این سطح نگران‌کننده است [۱۰]. گره‌های لبه می‌توانند برای کم کردن این انرژی از مراکز داده [۹] و کاهش حرکت داده‌ها و ترافیک شبکه کمک کنند. به‌طور خاص، زیرساخت ابر لبه‌ای کوچکتر از مرکز داده متمرکز است بنابراین می‌تواند از انرژی تجدیدپذیر بهتر استفاده کند [۱۱].

از سوی دیگر، IoT شامل میلیاردها دستگاه متصل است که عمدتاً از طریق شبکه‌های بی‌سیم ارتباط برقرار می‌کنند، مصرف انرژی یک نگرانی عمده و محدودیت برای گسترش IoT است [۱۲]. یک دستگاه IoT مقدار زیادی از انرژی را، معمولاً از چند میلی وات تا چند وات خود مصرف نمی‌کند [۱۳، ۱۴]. با این حال، تعداد روزافزون دستگاه‌ها تأثیر ناچیزی بر زیربنای ابر فراهم می‌کند که قدرت محاسباتی مورد نیاز دستگاه‌های IoT را ارائه می‌کنند [۱۵]. برای مقابله با افزایش ترافیک ناشی از دستگاه‌های IoT، زیرساخت‌های محاسباتی ابر شروع به کشف معماری‌های توزیع شده جدید کردند، به ویژه در معماری ابر لبه‌ای، مرکز داده کوچک در لبه ابر، به‌طور معمول در زیرساخت‌های لبه‌ای سرویس‌دهنده اینترنت (ISP) واقع شده است [۱۶، ۱۷].

درحالی‌که وضعیت فعلی مطالعات متعددی را در مدل‌های انرژی برای دستگاه‌های IoT [۱۸، ۱۹] و زیرساخت‌های ابر ارائه می‌دهد [۲۰، ۲۱]، بنا به‌ترین دانش ما، هیچ یک از آنها تصویر کلی فراهم نمی‌کند. بدین ترتیب محاسبه انرژی



مصرفی با افزایش دستگاه‌های IoT در زیربنای ابر دشوار است. مسئله اصلی، داشتن انرژی پایدار و تعیین همه وسایل و زیربنای مربوطه از جمله دستگاه‌های شبکه از سرورهای ISP و Cloud است. چنین نتایجی می‌تواند برای شناسایی بخشی که بیشترین مصرف را دارد استفاده شود و پس از آن باید بر تلاش‌های انرژی کارآمد متمرکز شود.

در این مقاله، انرژی پایان به پایان را در پلتفرم IoT بررسی می‌کنیم. هدف ما این است که مزایای پلتفرم محاسبات لبه‌ای را بنا به IoT پیشنهاد کنیم. بنابراین مدل انرژی پایان به پایان را برای برآورد لحظه‌ای که محاسبات از اشیاء به لبه یا به هسته ابر منتقل می‌شوند، بسته به تعداد دستگاه‌ها و QoS مورد نظر، به ویژه تعادل بین عملکرد (زمان پاسخ) و قابلیت اطمینان (دقت خدمات) ارائه می‌کنیم.

اعتبارسنجی مورد استفاده ما اینترنت وسایل نقلیه (IOV) را مورد هدف قرار می‌دهد که می‌تواند به عنوان همگرایی اینترنت تلفن همراه و IoT باشد [۲۲]. به طور خاص، ما بر روی جریان‌های ویدئویی از دوربین‌هایی که برای تشخیص و ردیابی شیء مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند تمرکز می‌کنیم. در این مورد خاص، اغلب در مورد برنامه‌های IoT است که سطح QoS بالایی نیاز دارند. در حقیقت، داده‌ها هنگامی که نمی‌توانند به اندازه کافی با سرعت تجزیه و تحلیل شوند ارزش خود را از دست می‌دهند. از طریق معیارهای واقعی و شبیه‌سازی این سناریوی دقیق، انرژی مصرفی هر بخشی از پلتفرم IoT را ارزیابی خواهیم کرد: دستگاه‌های متصل، شبکه‌های ارتباطی سیم‌کشی و زیرساخت‌های محاسباتی ابر.

ادامه این مقاله به شرح زیر است: بخش ۲ مربوط به کارهای گذشته است. سناریوی این مقاله در بخش ۳ توضیح داده شده است. مدل انرژی پایان به پایان در بخش ۴ و نتایج اعتبارسنجی در بخش ۵ ارائه شده است. اعتبار و محدودیت مدل در بخش ۶ بحث شده است. بخش ۷ نتیجه‌گیری مقاله را بیان می‌کند.

۲. کارهای مرتبط



۲.۱ تخلیه داده‌ها به لبه

تجزیه و تحلیل پردازش جریان داده‌ها، منابع محاسباتی عظیمی را مصرف می‌کند و معمولاً زمان پاسخ برای بسیاری از برنامه‌های کاربردی بسیار مهم است. انتقال داده‌ها به Cloud برای تجزیه و تحلیل می‌تواند یک راه‌حل [۲۳] در انواع سناریوهای کاربردی باشد که نیاز به منابع محاسباتی عظیم و همچنین تضمین کیفیت QoS دارند. با این وجود، ممکن است در صورت وجود هزاران اطلاعات، اگر جریان‌ها به صورت همان زمان از دستگاه‌های IoT تولید شوند و سپس برای تجزیه و تحلیل سریع به Cloud فرستاده شوند خطر تداخل شبکه را افزایش دهد. اگرچه کاهش زمان تجزیه و تحلیل، محاسبات بزرگ منابع را از ابر بی‌نیاز می‌کند، نمی‌تواند از زمان انتقال اطلاعات از طریق شبکه و از کاربر را به محل فیزیکی ابر، که ممکن است هزاران هزار بار دور باشد اجتناب کند [۲۴]. علاوه بر این، افزایش تعداد جریان داده‌ها بر روی شبکه، مقدار زیادی انرژی مصرف می‌کند [۲۴-۲۷].

برای پاسخگویی به تقاضای زمان پاسخ کوتاه، تخلیه محاسبات به لبه می‌تواند یک راه‌حل باشد [۲۸]. لبه نشان‌دهنده مراکز داده در مقیاس کوچک و نزدیک به منبع داده است. مفهوم پردازش داده‌ها در لبه براساس مزیت زمان تأخیر کمتر از هسته است، بنابراین قادر به بازگشت سریع نتایج به دستگاه است. با این وجود، با توجه به مقدار زیاد جریان‌های داده‌ای که نیاز به پردازش دارند، هسته‌ای که بیشترین منابع محاسباتی ممکن را دارد یک انتخاب انرژی-کارآمد است. در کنار این مسئله، یک مدل جدید ظاهر می‌شود: زیرساخت‌های ابر غیرمتمرکز [۲۹]. ارائه دهندگان ابر انتظار دارند که عملکردشان برای استفاده از زیرساخت‌های موجود خود بهبود یابد. در واقع، اپراتورهای مخابراتی مانند Orange، سعی می‌کنند مراکز داده‌ی میکرو را (۲۰ تا ۵۰ سرور توسط micro-DC) در مرز شبکه، نزدیک به مشتریان به کار اندازند. در این مدل جدید، با استفاده از مراکز داده نزدیک به کاربر، زمان پاسخ بسیار بهبود می‌یابد. این کار بر روی یک مرکز داده کوچک/متوسط متمرکز است و به افزایش سهم خود از بازار ادامه می‌دهد. قرار دادن محاسبات و گره‌های ذخیره‌سازی در لبه اینترنت در سال‌های اخیر بسیار محبوب شده است. این گره‌ها اغلب در یک مرکز داده کوچک قرار



داده شده‌اند که نزدیک دستگاه‌های تلفن همراه است. در حالت خاص، محاسبات لبه [۳۰] قادر به ارائه پاسخ برای کاربران است.

کارهای پیشین موجود، الگوریتم‌های تجزیه و تحلیل ویدئو و ابزار را مورد توجه قرار داده‌اند. طبقه‌بندی آبشاری مبتنی بر ویژگی Haar [۳۱] روش تشخیص معمولی شی است که برای دستیابی به نرخ تشخیص بالا موثر عمل کرده است. این روش بر مبنای رویکرد AdaBoost یادگیری ماشین [۳۲] و تابع آبشار از یک مجموعه‌ی بزرگ از تصاویر مثبت و منفی است. طبقه‌بندهای مورد استفاده در این مقاله در توزیع OpenCV 1 2.4.13 گنجانده شده است. ما طبقه‌بندی Haar خود را آموزش دادیم که برای تجزیه و تحلیل جریان‌های ویدیویی جهت تشخیص اشیاء مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲.۲ مصرف انرژی دستگاه‌های شبکه و ابر

از زمان ظهور محاسبات ابر، تقاضا برای محاسبات و ذخیره‌سازی منابع در مراکز داده به سرعت در حال افزایش است بنابراین منجر به افزایش مصرف انرژی آنها می‌شود. همانطور که بیان شده است، در سال ۲۰۱۰، گوگل از ۹۰۰ هزار سرور استفاده کرد و مصرف برق آن ۲۶۰ میلیون وات بود [۳۳]. برق یک موضوع کلیدی برای استقرار تجهیزات مرکز داده است.

از آنجا که سرورها از جمله مصرف‌کنندگان اولیه انرژی در مراکز داده هستند [۳۴]، بسیاری از پیشنهادات سبز برای حل مشکل مصرف انرژی سرور پیشنهاد شده‌اند. ولتاژ پویا و مقیاس فرکانس که بر عملکرد سرور تاثیر می‌گذارد مثالی از چنین پیشنهاداتی است. بنابراین، فناوری مجازی‌سازی فرصتی جدید برای صرفه‌جویی در انرژی به ارمغان می‌آورد. این روش موجب می‌شود چندین درخواست در سرور یکسان پردازش شود، به این ترتیب حجم کار بر روی سرورهای کمتری با ادغام اجرا می‌شود.



یک مطالعه در سال ۲۰۱۴ انرژی تخمین زده شده از بازار مرکز داده براساس تعداد سرورهای نصب شده و مصرف برق را ارائه می‌دهد [۳۵]. مراکز داده‌ی کوچک و متوسط تقریباً نیمی از انرژی بازار را تشکیل می‌دهد؛ آنها معمولاً از کمتر از ۱۰۰ سرور یک سیستم خنک کننده تشکیل می‌شوند. مصرف انرژی بیش از حد ارائه‌دهندگان ابر مانند گوگل، آمازون و فیس بوک تنها ۴ درصد از انرژی مرکز داده جهانی را به دلیل اعمال تهاجمی خود از بهره‌وری انرژی به همراه دارد [۳۵]. با استفاده از محاسبات ابر لبه‌ای، انتظار می‌رود بخشی از لایحه انرژی جهانی Cloud برای مراکز داده کوچک و متوسط با توزیع محاسبات ابر لبه‌ای بر روی مراکز داده بسیار کوچک افزایش یابد.

امروزه اکثر سرویس‌دهندگان ابر، ابر تجاری خود را در مراکز داده بزرگ اجرا می‌کنند و آن را به حالت مرکزی به کار می‌گیرند. اگرچه آنها به توانایی محاسبات با کارایی بالا و قابلیت مدیریت دست می‌یابند، سیستم خنک‌کننده‌ی قدرتمندی برای کاهش دمای این زیرساخت‌های بزرگ و تجهیزات مورد نیاز است. با این حال، سیستم خنک‌کننده گران است و مقدار انرژی زیادی مصرف می‌کند. در عوض، کار قبلی [۳۶] اشاره دارد که این مراکز داده کوچک در مقایسه با مراکز داده بزرگ مزایای قابل توجهی دارند. اولاً، مراکز داده کوچک مقدار دما را محدود می‌کنند بنابراین مدیریت آن آسان می‌شود. مصرف برق کمتر معمولاً از منابع انرژی کمتری استفاده می‌کند و هزینه پایین‌تر است، بنابراین هزینه و تجهیزات زیرساخت کاهش می‌یابد. علاوه بر این، مرکز داده کوچک مقیاس مناسب برای ساخت زیرساخت‌های توزیع شده از نظر جغرافیایی است.

در سطح جهانی، نرخ رشد انرژی مرکز داده در سال‌های اخیر کاهش یافته است [۳۷]. تجار سرور با رشد سریع ۵ ساله همراه با نرخ رشد سالانه ۱۵٪ از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ روبه رو هستند. از ۲۰۰۵-۲۰۱۰، نرخ رشد سالانه به دلیل رکود اقتصادی و همچنین به دلیل مکانیزم بازدهی انرژی در سرور ذخیره‌سازی، شبکه و زیرساخت همراه با فن‌آوری مجازی‌سازی به ۵٪ کاهش یافت. پس از سال ۲۰۱۰، نرخ رشد به ۳ درصد کاهش می‌یابد و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۰ ثابت باقی بماند. در حال حاضر، دانش استفاده‌ی گسترده و صنعت مربوطه برای ارزیابی کارایی انرژی داده‌ها،

متریک PUE است [۳۸،۳۹]: اثربخشی استفاده از انرژی. معمولاً مقدار PUE ایده آل برابر با ۱.۰ است: این نشان می‌دهد که انرژی مصرف شده توسط تجهیزات فناوری اطلاعات مشابه انرژی کل تسهیلات است.

شبکه‌های کامپیوتری عناصر حیاتی هستند که مراکز داده را برای ارائه محاسبات و ظرفیت ذخیره‌سازی ابرهای توزیع شده متصل می‌کنند. همانگونه که اندازه ابرها افزایش می‌یابد و ترافیک نیاز به تنوع دارد، منابع شبکه کامپیوتری، در داخل و در بین مراکز داده، اغلب به محدودیت‌های خود غلبه کرده و در بسیاری از موارد، به گلوگاه عملکرد تبدیل می‌شوند [۴۰]. علاوه بر این، آنها نماینده بخش کوچکی از مصرف انرژی سیستم‌های توزیع شده هستند [۴۱،۴۲].

جدول ۱: ۳۶۰ پیکسل، ۴۸۰ پیکسل و ۷۲۰ پیکسل، ۳ رزولوشن متفاوت از یک ویدیو مشابه را نشان می‌دهند.

رزولوشن	نرخ بیت	
۳۶۰ پیکسل	۶۴۰*۳۶۰	۵۱۴ کیلو بیت بر ثانیه
۴۸۰ پیکسل	۷۲۰*۴۸۰	۷۰۶ کیلو بیت بر ثانیه
۷۲۰ پیکسل	۱۲۸۰*۷۲۰	۱۱۷۶ کیلو بیت بر ثانیه

3. use case رانندگی

چند برنامه کاربردی IoT در صنایع مختلف از جمله نظارت بر محیط زیست، بهداشت و درمان، خدمات مراقبت، مدیریت موجودی و تولید، عرضه مواد غذایی زنجیره‌ای، حمل و نقل، پشتیبانی محل کار و خانگی، امنیت، و نظارت در حال توسعه هستند [۱۲]. در این مقاله، use case خاصی را مورد مطالعه قرار می‌دهیم. ابتدا سناریو را توصیف می‌کنیم و سپس معماری ابر امکان‌پذیر برای پشتیبانی از این برنامه‌ها را بررسی می‌کنیم.

۳.۱ خصوصیات برنامه کاربردی

این سناریو که در این مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرد، نیاز به پردازش ترافیک سنگین دارد. چندین دستگاه پیوسته جریان داده‌ها را به نقطه جمع‌آوری آنها در ابر می‌فرستند. به عنوان مثال، خدمات نظارت مبتنی بر دوربین مانند یک تحلیلگر جاده ای را نشان می‌دهد [۱۷]. جریان داده‌ها مداوم از دوربین به سرویس Cloud میزبانی IoT ارسال



می‌شود. داده‌های تولید شده می‌توانند حجم زیادی را که باید در زمان واقعی پردازش شوند، نشان دهند [۴۳].
برنامه‌های واقعی خصوصیات ترافیکی مشابهی را نشان می‌دهند [۴۴].

انگیزه این مقاله این است که بتواند چارچوبی را ایجاد کند تا تعادل بین عملکرد و صرفه‌جویی در هزینه انرژی برای تجزیه و تحلیل داده‌های زمان واقعی با سرعت بالا از بسیاری از دستگاه‌ها را ارائه کند. یک نمونه سناریو مورد استفاده شامل دوربین‌هایی است که می‌توانند در دستگاه‌های کوچک مانند گوگل GigaSight, glass [۴۵] و یا هر دستگاه دیگری جاسازی شوند. دوربین این فریم‌ها را به طور مداوم می‌گیرد تا بتواند آن را به عنوان جریان اطلاعات با نرخ بالا مشاهده کند. چنین تجزیه و تحلیل‌های ویدئویی، که اشیاء جالب را تشخیص می‌دهد (برای مثال، مناطق مورد علاقه)، به قدرت محاسبات و انرژی نیاز دارد. برای افزایش عملکرد محاسبات و برای کاهش مصرف انرژی در دستگاه نهایی، اغلب اطلاعاتی که به ابر بارگیری شده‌اند تجزیه و تحلیل می‌شوند. اگر چه بارگیری داده‌ها به سرورهای با کارایی بالا در Cloud می‌توانند پردازش تجزیه و تحلیل را سرعت بخشد، بهره‌وری کل روش بسیار وابسته به وضعیت شبکه و هزینه‌های مربوط به خدمات شبکه است.

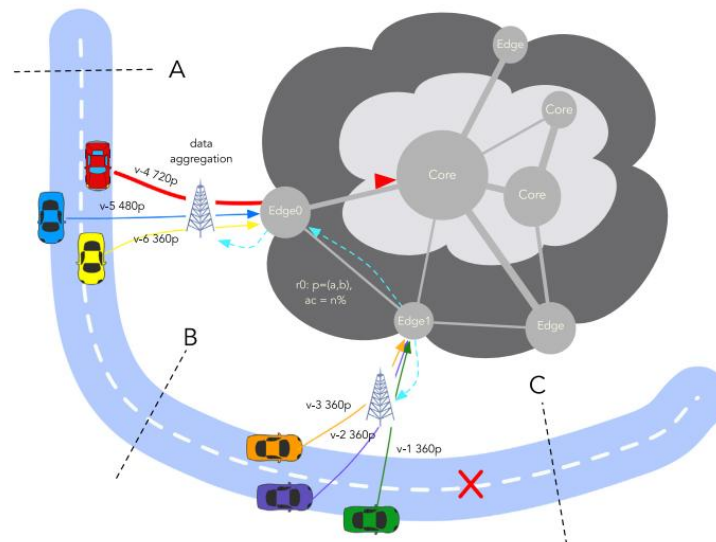
ما در نظر گرفتیم که فیلم‌ها می‌توانند از طریق H.264 در ۳ رزولوشن (p۳۶۰، p۴۸۰ و p۷۲۰) رمزگذاری شوند. جزئیات بیشتر در جدول ۱ نشان داده شده است و ما از ابزار FFmpeg [۴۶] برای رمزگشایی استفاده می‌کنیم.

۳.۲ زیرساخت ابر برای تجزیه و تحلیل جریان داده‌ها

لبه معمولاً دارای ظرفیت محاسباتی کمتری (به عنوان مثال، محاسبه سرورها) از منابع موجود در هسته ابر است. با این حال، این سرورهای لبه به کاربران لبه نزدیکتر هستند و بنابراین برای کاربران، تاخیر به سرور لبه کمتر از زمان تاخیر به هسته ابر است. هسته‌ی ابر مراکز بزرگ داده را نشان می‌دهد که در آن هر مرکز داده از هزاران سرور تشکیل شده است. چنین مدلی از مراکز داده [۴۷] با منابع و مکانیسم مدیریتی خودکار ارائه‌دهنده یک مجموعه بزرگ از

منابع محاسباتی . در حالی که هسته، سرورهای قوی تری دارد و انرژی مرتبط با حرکت داده‌ها، ترکیب‌های مختلفی را ارائه می‌دهد که باید بررسی شود.

در این مقاله، فرض می‌کنیم که همه‌ی وسایل نقلیه در نظر گرفته شده با یک دوربین روی صفحه مجهز شده‌اند و توانایی آپلود ویدیو گرفته شده توسط دوربین‌های خود را به طور مداوم به لبه و هسته ابرها دارند. لبه / هسته هر جریان داده را در زمان واقعی تجزیه و تحلیل می‌کند و وضعیت جاده را به کاربر بازمی‌گرداند. هدف برنامه کاربردی این است که از ترافیک و تصادفات احتمالی ممکن با به اشتراک گذاری اطلاعات تولید شده به کاربران به صورت آنلاین جلوگیری کند.



شکل ۱. نمونه مورد استفاده برای IoV با ابرهای لبه و هسته.

یکپارچه‌سازی این مورد با نسل بعدی از وسایل نقلیه با استفاده از فن‌آوری اتوپایلوت می‌تواند به بهبود ایمنی جاده‌ها برای رانندگان کمک کند (به عنوان مثال کاربران).

شکل ۱ ماژول مورد استفاده ما را نشان می‌دهد: یک شی با تجزیه و تحلیل جریان داده‌ها از دوربین‌های خودرو تشخیص داده می‌شود، تجزیه و تحلیل حاصل یک شی را در وسط جاده‌ای که ممکن است برای دیگر وسایل نقلیه در این جاده خطرناک باشد مشخص می‌کند. لبه ۱ بلافاصله گزارش تمام وسایل نقلیه که در بخش BC از جاده هستند



را ارسال می‌کند. در همان زمان، یک پیام از لبه ۱ به لبه ۰ به منظور ارسال وسایل نقلیه در بخش AB از جاده را اطلاع می‌دهد.

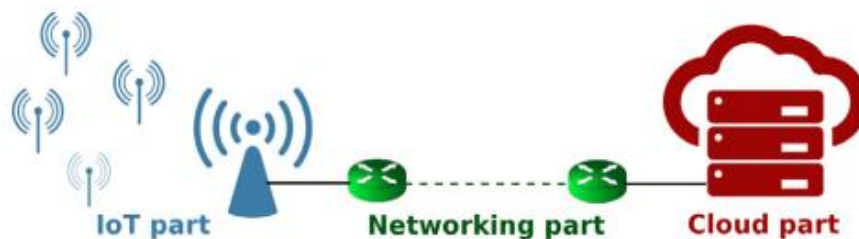
۴. مدل سیستم و مفروضات

در این بخش، مدل های پایان به پایان را برای سناریوهای IoT و معماری Cloud شرح داده شده در بالا توصیف می‌کنیم. معماری سرویس IoT شامل چندین عنصر است: خود دستگاه IoT، نقطه جمع‌آوری داده‌ها از دستگاه‌های IoT، زیرساخت ابر مورد استفاده برای پردازش و ذخیره داده‌ها و شبکه‌هایی که نقطه جمع‌آوری را به ابر پیوند می‌دهند. برای وضوح بیشتر سه بخش را که در تصویر ۲ نشان داده شده است تقسیم می‌کنیم:

- بخش IoT دستگاه‌های IoT و نقطه جمع‌آوری؛
 - قسمت شبکه شامل چند سوئیچ و روتر که تعداد آنها بستگی به معماری ابر دارد (متمرکز یا لبه)؛
 - بخش Cloud شامل منابع مرکز داده که توسط سرویس IoT استفاده شده است.
- هنگامی که مدل ابر در نظر گرفته شده لبه ابر باشد، بخش عملکردی شبکه حداقل است. این مدل را می‌توان برای پشتیبانی زیرساخت‌های محاسباتی مه سازگار کرد که دستگاه‌های IoT بتوانند بخشی از آن منابع ابر باشند [۷،۲۰]. در زیر، هر بخش از مدل انرژی را مشخص می‌کنیم.

۴/۱ قسمت IoT

بخش IoT، دستگاه‌های IoT و نقطه جمع‌آوری را مقایسه می‌کند. ما دستگاه‌های IoT را با استفاده از WiFi (۸۰۲.۱۱) برای ارتباط مشخص می‌کنیم.



شکل ۲. سه بخش اصلی زیرساخت یک سرویس IoT.

جدول ۲ مقدار IoT دستگاه از [۴۹].

پارامتر	مقدار
ولتاژ	۳.۳ ولت
جریان خام	A ۰.۲۷۳
جریان CCA فعلی	A ۰.۲۷۳
Tx فعلی	0.38 A
Rx فعلی	A ۰.۳۱۳
جریان جابجایی کانال	A ۰.۲۷۳
خواب فعلی	A ۰.۰۳۳

بنا به کار قبلی، ما از یک مدل حالتی برای مصرف انرژی از وای فای NIC استفاده می‌کنیم [۴۸]. NIC در حالت خاموش است (IDLE)، حالت حامل (CCA BUSY)، دریافت (RX)، انتقال (TX) و یا تعویض بین حالت‌ها (سوئیچینگ) را اجرا می‌کند [۱۴]. مقادیر مربوط به انرژی در جدول ۲ نشان داده شده است. این مقادیر برای NIC 802.11n اندازه‌گیری شده‌اند [۴۹]. این مدل می‌تواند برای دیگر ارتباطات بی‌سیم نیز سازگار باشد.



برای دستگاه‌ها، ما دوربین‌های وای‌فای را با مصرف انرژی ۵ وات [۵۰] و سنسورهای مانیتورینگ را با انرژی ۰.۰۶ وات [۵۱] مشخص می‌کنیم. در مورد نقطه دسترسی، از مقادیر انرژی یک ایستگاه پایه LTE استفاده می‌کنیم: ۳۳۳ وات در حالت غیرفعال و ۵۲۸ وات در حالت حداکثر [۵۲،۲۰]. یک ایستگاه پایه وای‌فای مقادیر قدرتمندی را ارائه می‌دهد [۵۳].

۴/۲ قسمت شبکه

دستگاه‌های شبکه، مانند روترها و سوئیچ‌ها، به طور معمول رابطه خطی بین مصرف انرژی و بار را نشان می‌دهند (انرژی زمانی که دستگاه روشن اما بیکار است) [۴۱،۲۰].

جدول ۳ مقادیر شبکه دستگاه از [۲۰].

پارامتر	روتر لبه	روتر هسته
مصرف در زمان بیکاری	۴۰۹۵ وات	۱۱۰۷۰ وات
مصرف حداکثری	۴۵۵۰ وات	۱۲۳۰۰ وات
ترافیک	۵۶۰ گیگابایت بر ثانیه	۴۴۸۰ گیگابایت بر ثانیه
انرژی	۳۷ نانوزول بر بیت	۱۲.۶ نانوزول بر بیت

جدول ۳ مقادیر معمول برای روتر لبه و هسته را نشان می‌دهد، فرض می‌کنیم که بخش شبکه - بین نقطه دسترسی و ابر - شامل تنها دو نوع دستگاه است. فرض می‌کنیم که لبه Cloud به نقطه دسترسی از طریق روترهای لبه متصل است، درحالی‌که هسته Cloud از طریق روتر هسته متصل است. همانطور که در [۲۰] توضیح داده شده است، ما از یک مدل انرژی برای هر بیت استفاده خواهیم کرد، در نتیجه مصرف انرژی استاتیک روتر متناسب با جریان شبکه در نظر گرفته می‌شود.

مصرف انرژی جریان شبکه، بستگی به تعداد روترهایی دارد که از آنها باید عبور کند. ما هسته ابر را با ۱۰ نقطه بافاصله از نقطه دسترسی برای ۱۰۰ میلی ثانیه با توجه به مقادیر اندازه گیری شده در [۵۴] بین مشتریان و ابر آمازون در نظر می گیریم. در نهایت، یک PUE 1.7 در نقطه دسترسی و نقاط شبکه در نظر می گیریم، که یک ارزش معمول برای مراکز داده کوچک است [۵۵].

۴.۳. بخش ابر: مدل لبه و هسته

با الهام از کارهای قبلی در تحلیل جریان ویدئو [۴۵،۵۶] و محاسبات لبه [۵۷]، مدل ما شامل دو نوع منابع محاسباتی است.

از آنجا که کاربر به صورت فیزیکی به لبه نزدیک است، سرورها در لبه قرار می گیرند تا تاخیر کمی را برای کاربران فراهم کنند. انتقال داده ها از کاربران به لبه می تواند تاخیر کمتری نسبت به انتقال مستقیم به هسته ابر داشته باشد. در مقابل، ظرفیت محاسباتی در لبه ابر محدود است و می تواند به عنوان یک مرکز داده کوچک در نظر گرفته شود، لبه مورد نظر شامل ۲۰ تا ۵۰ سرور است. هر سرور منابع فیزیکی محدودی از لحاظ CPU، RAM و پهنای ورود دارد. ما فرض می کنیم که هیچ سیستم ذخیره سازی متمرکزی در لبه Cloud وجود ندارد: هر سرور دارای هارد دیسک خود است [۵۸]. لبه می تواند کارایی محاسباتی QoS را برآورده نکند و این وظیفه را به هسته ای که در آن منابع محاسباتی کافی در دسترس هستند منتقل کند.

هسته مجموعی از مراکز داده متصل شده است که معمولاً از کاربران دور هستند. اگرچه سرورها در هسته Cloud قرار دارند اما تاخیری بالاتری نسبت به سرورهای لبه دارند، بنابراین عملکرد آنها (از سرورهای اصلی) بالاتر از لبه است. از دیدگاه هزینه انرژی، پردازش داده ها در هسته سریع تر از پردازش داده ها در لبه است. با این حال، حجم بزرگی از داده ها باید به هسته منتقل شود تا پردازش صورت گیرد، هزینه ارتباط بین هسته کاربر از طریق اینترنت را نمی توان نادیده گرفت.



یک کار درخواست است که نیاز به منابع محاسباتی برای پردازش دارد. این را می توان به لبه و هسته در هر زمان ربط داد. هنگامی که درخواست پذیرفته می شود، ماشین مجازی (VM) بر روی سرور در لبه یا هسته برای پردازش تجزیه و تحلیل ایجاد شده است. VM به عنوان واحد اصلی تخصیص منابع در نظر گرفته می شود. VM با الزامات خاص CPU و RAM ساخته شده است. وقتی وسیله نقلیه این بخش جاده را ترک می کند، VM نابود شده است و منابع ذخیره شده خود را به سرور باز می گرداند.

علاوه بر قدرت محاسباتی، ما از PUE به منظور پرداخت هزینه کامل انرژی با استفاده از منابع محاسباتی در محیط های ابر استفاده خواهیم کرد. PUE برای ابر لبه حدودا ۱.۲ فرض می شود و برای ابر متمرکز حدود ۱.۲، با توجه به مطالعه اخیر U.S. است [۵۵].

جدول ۴ مصرف کلی انرژی برحسب وات از دستگاه های IoT (شبیه سازی شده با ns3).

تعداد دستگاه ها	p۳۶۰	p۴۸۰	p۷۲۰
۱	۶.۹۰۷	۶.۹۰۸	۶.۹۰۹
۲	۱۲.۸۶۹	۱۲.۸۷	۱۲.۸۷۳
۳	۱۸.۸۳۱	۱۸.۸۳۲	۱۸.۸۳۷
۴	۲۴.۷۹۲	۲۴.۷۹۵	۲۴.۸۰۱
۵	۳۰.۷۵۴	۳۰.۷۵۷	۳۰.۷۶۵
۶	۳۰.۷۱۶	۳۶.۷۱۹	۳۶.۷۲۸
۷	۴۲.۶۷۷	۴۲.۶۸۲	۴۲.۶۹۲
۸	۴۸.۶۳۹	۴۸.۶۴۴	۴۸.۶۵۶
۹	۵۴.۶۰۱	۵۴.۶۰۶	۵۴.۶۲
۱۰	۶۰.۵۶۲	۶۰.۵۶۸	۶۰.۵۸۳



۵. ارزیابی

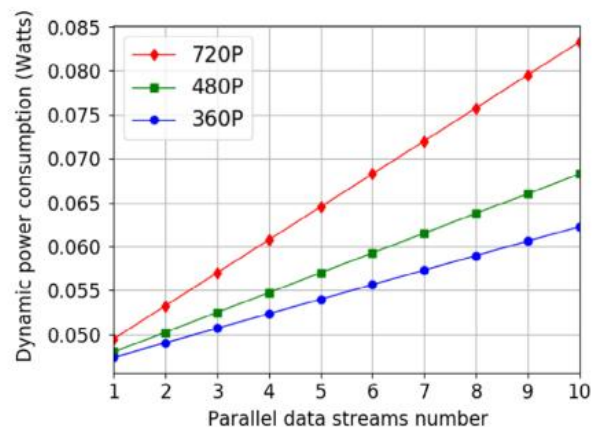
این بخش، نتایج اعتبارسنجی را در ماژول مورد استفاده مشخص می‌کند. ابتدا مدل انرژی خود را از دستگاه‌های IoT با استفاده از شبیه‌ساز ns3 ترسیم می‌کنیم [۵۹] و نتایج شبیه‌سازی را در مورد انرژی دستگاه‌های IoT ارائه می‌دهیم (بخش ۵.۱). سپس، مجموعه‌ای از آزمایشات (بخش ۵.۲) را که برای اندازه‌گیری واقعی در سرورهای ابر برای اجرای تجزیه و تحلیل جریان (تشخیص شی) است انجام می‌دهیم. این آزمایش‌ها انواع مختلف تنظیمات Cloud را به منظور اجرای برنامه داده شده بررسی می‌کند (بخش ۵.۳). این اندازه‌گیری‌های کوچک در شبیه‌ساز [۶۰] در جهت برداشتن این مقادیر برای سناریوی بزرگ در مقیاس بزرگ و شامل شبکه‌های مخابراتی است (بخش ۵.۴). همینطور تقارن بین دقت برنامه (یعنی شیء) و دقت تشخیص بسته به تعداد منابع ارائه شده، جریان‌ها و وضوح تصویر هر جریان و انرژی را ارائه می‌کنیم (بخش ۵.۵). سرانجام، همه نتایج را برای ترسیم کامل مصرف انرژی توسط برنامه در مورد زیرساخت‌های در نظر گرفته شده جمع می‌کنیم و در نتیجه قسمت‌های مختلف بخش را مقایسه می‌کنیم (بخش ۵.۶).

۵/۱ مصرف دستگاه‌های IoT

برای ارزیابی انرژی دستگاه‌های IoT، از شبیه‌ساز ns3 [۵۹] و اجرای آن از مدل انرژی شرح داده شده در بخش ۴.۱ برای دستگاه‌های IoT استفاده می‌کنیم [۴۸]. شبیه‌ساز رفتار n۸۰۲.۱۱ (۵ گیگاهرتز) را تقلید می‌کند. دستگاه IoT با سرعت ثابت در محدوده نقطه دسترسی حرکت می‌کند (با استفاده از مدل تحرک سرعت ثابت ns3). شبیه‌سازی‌ها نرخ بیت برنامه را با توجه به مقادیر ارائه شده در جدول ۱ دنبال می‌کنند. همانطور که هیچ متغیر تصادفی در این شبیه‌سازی وجود ندارد، تنها یک اجرا انجام می‌شود.

شکل ۳ مصرف انرژی پویا برای افزایش را برای تعداد دستگاه‌های IoT نشان می‌دهد: این قسمت تنها انرژی پویا مورد نیاز برای ارسال جریان داده را در نظر دارد. همانطور که انتظار می‌رود جریان‌های ۷۲۰P مصرف انرژی بیشتری دارند. جدول ۴ مصرف کلی برق (شامل قدرت استاتیک دوربین) برای تعداد بیشتری از دستگاه‌های IoT را نشان می‌دهد. می‌بینیم که ارتباطات در مقایسه با قدرت استاتیک دستگاه تقریباً ناچیز است. در نتیجه فرمت ویدیو تاثیر کلی تقریباً ناچیزی بر انرژی دارد (به منظور یک مگاوات برای یک دستگاه). با این حال، ترافیک از یک فرمت به یک دیگر متفاوت است.

اگر ما یک نقطه دسترسی ایده‌آل را ارائه کنیم که پهنای باند آن ۵۴ مگابیت در ثانیه است (ارزش کلاسی برای ۸۰۲.۱۱)، به این معنی است که به طور ایده‌آل می‌تواند تا ۱۰۵ جریان در ۳۶۰p، ۷۶ جریان در ۴۸۰p و ۴۵ جریان در ۷۲۰p را ارائه دهد. شکل ۴ یک برداشت کامل از کل مصرف انرژی را (دستگاه‌های IoT و نقاط دسترسی) تا ۳۰۰ وسیله نقلیه با ۵۴Mbps پهنای باند در هر نقطه دسترسی نشان می‌دهد. این استخراج ایده آل براساس مقادیر حاصل از شبیه‌سازی‌ها است که توسط شکل ۳ و جدول ۴ نشان داده شده است.



شکل ۳. مصرف انرژی پویا از ارتباطات بی‌سیم برای دستگاه IoT (شبیه‌سازی شده با 3 ns).

این مراحل مربوط به افزودن پیوسته نقاط دسترسی جدید برای حمایت از ترافیک است، ما شرط ایده‌آل را بدون دخالت آن فرض می‌کنیم.



۵/۲ راه اندازی برای بخش ابر و شبکه

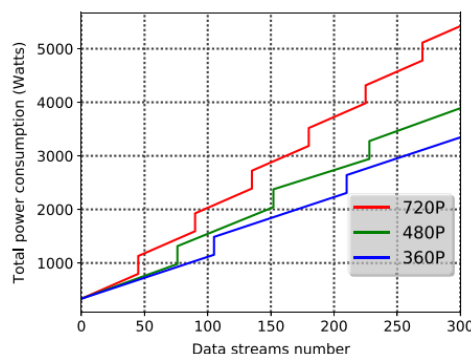
نیمه اول آزمایشات ما شامل اندازه گیری مصرف انرژی و عملکرد تخریب با برنامه های کاربردی متفاوت در آزمایشات تحت Grid'5000، پلت فرم فرانسوی برای آزمایش سیستم توزیع شده است [۶۲]. ما از سرورهای یکسانی که در [۶۰] ذکر شده است، استفاده می کنیم: سرورها Dell با PowerEdge R720 از خوشه Taurus در سایت Grid'5000 Lyon. هر سرور از دو پردازنده Intel Xeon E5-2630 تشکیل شده است (۲.۳ GHz) هر کدام ۶ هسته، ۳۲ گیگابایت رم و ۶۰۰ گیگابایت دیسک دارند. پردازنده ها از تکنولوژی Hyper Threading پشتیبانی می کنند بنابراین در مجموع ۱۲ سرور هسته ی فیزیکی می تواند ۲۴ پردازنده مجازی را ارائه دهد. KVM را به عنوان راه حل مجازی سازی همراه با لینوکس در سرورهای مبتنی بر x86 استفاده می کنیم. نتایج آزمایش ها برای ساختن مدل های انرژی و عملکرد استفاده می شود. مدل مصرف انرژی شبکه به شیوه ای مشابه با [۲۰] و براساس هزینه هر بیت تعریف شده است. این مدل ها در شبیه ساز ما شرح داده شده است [۶۰]. به منظور استخراج مقیاس بزرگ، نیمه دوم آزمایشات با استفاده از این شبیه ساز ارائه می شود.

سرورها در هر دو لبه و هسته قرار می گیرند. بیشتر مطالعات قبلی [۴۱] بر این واقعیت است که مصرف انرژی سرور پویا به طور عمده بر فرکانس CPU بستگی دارد. مصرف انرژی سرور برای پروفیل های مختلف پردازشگر CPU در نظر گرفته شده است همانطور که در [۶۰] توضیح داده شده است. علاوه بر این، نتایج تجربی ما نشان می دهد که یک سرور در حالت بیکار تقریباً نیمی از انرژی حداکثر را مصرف می کند. از نقطه نظر تاخیر ما فرض می کنیم ۱۰۰ مگابایت round-trip-time (RTT) بین وسایل نقلیه و هسته ابر داریم. این مقدار مشابه آنچه است که برای دسترسی به یک ابر آمازون به عنوان مثال [۵۴] استفاده می شود.

۵/۳ اندازه VM و تجزیه و تحلیل زمان

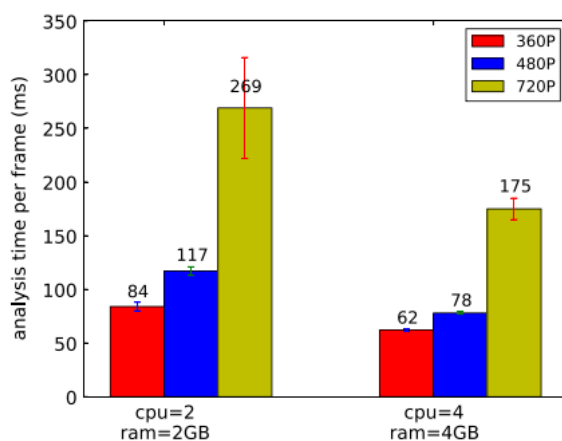
با توجه به ظرفیت محاسباتی محدود سرور، تخصیص منابع به VM نیاز به دقت دارد. هدف ما از آزمایش اول این است که عملکرد تجزیه و تحلیل ویدئو و انرژی در اندازه‌های مختلف VM را ارزیابی کنیم. در این آزمایش، ما دو VM شخصی در دو سرور از خوشه Taurus ایجاد می‌کنیم. VM-1 دارای ۲ پردازنده مجتمع و ۲ گیگابایت رم و VM-2 ، ۴ پردازنده مجتمع و ۴ گیگابایت رم دارد.

زمان تجزیه و تحلیل در هر فریم VM-1 و VM-2 در شکل ۵ نشان داده شده است. VM-2، ۲۶٪، ۳۳٪ و ۳۵٪ سریعتر از VM-1 برای ۳۶۰p، ۴۸۰p و ۷۲۰p است. واضح است که VM-2 از منابع محاسباتی بیشتری بهره می‌برد (یعنی برنامه کاربردی مزایای استفاده از محاسبات موازی را بیان می‌کند) و باعث کاهش زمان تجزیه و تحلیل می‌شود.



شکل ۴. مصرف انرژی برای تمام بخش IoT از جمله دستگاه‌ها و نقاط دسترسی

(استخراج از شبیه‌سازی ns3 ارائه شده در جدول ۴).

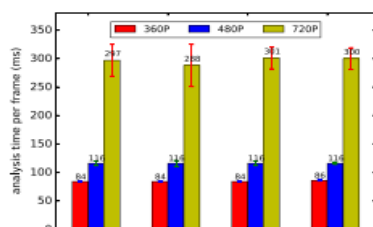


شکل ۵ تحلیل زمان در اندازه‌های مختلف VM (اندازه‌گیری شده در سرورهای ما).

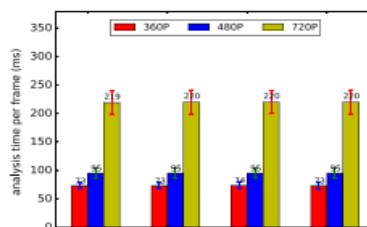


سپس ما به آزمایش دیگری می‌رویم که در آن تعداد VM ها تغییر می‌کنید. ما ابتدا 4 ~ VM-1 را روی سرور Taurus-12 ایجاد می‌کنیم، چهار VM یکسان، و هر VM پیکربندی سخت‌افزاری یکسانی دارد: ۲ vCPU و ۲ گیگابایت رم. این VM ها فقط یک جریان داده را در یک زمان پردازش می‌کنند. VM-5 بر روی سرور Taurus-13 با ۸ vCPU و ۸ GB RAM بر خلاف 4 ~ VM-1 ایجاد می‌شود، که ۴ جریان داده را به طور موازی پردازش می‌کند. ما آزمایشات مربوط به تجزیه و تحلیل یک ویدیو را انجام دادیم. هر آزمایش، مربوط به یک فرمت ویدئو در یک سناریو، برای رسیدن به نتایج آماری دقیق، ۱۰ بار اجرا شده است.

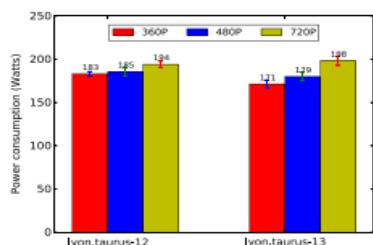
نتایج در شکل ۶ نشان داده شده است. برای هر نقطه‌ای که در شکل ۶ آمده است، ۱۰ تکرار از آزمایش یکسان برای دریافت نتایج معقول انجام شده است. خطاها نشان‌دهنده انحراف استاندارد از اندازه‌گیری‌های به دست آمده هستند. شکل ۶ (a) زمانی است که ۴ VM کوچک در Taurus-12 استفاده می‌شود و هر VM فقط یک جریان داده را پردازش می‌کند. زمان تجزیه و تحلیل برای هر VM برای هر قالب رزولوشن شبیه است. در شکل ۶ (b)، پردازش ۴ جریان داده به صورت موازی در VM با اندازه بزرگ در Taurus-13 نشان داده می‌شود. ما متوجه می‌شویم که پردازش ۴ جریان در ۱ VM بزرگتر از پردازش در ۴ VM با اندازه کوچک است. ما این را به این واقعیت اضافه می‌کنیم که لایه مجازی‌سازی KVM جریمه‌ای را اضافه می‌کند. در مورد ۴ VM، محاسبات منابع داده شده به هر VM از KVM همیشه از هسته فیزیکی یکسان نیست. به عبارت دیگر، اگر یک VM همیشه از آن استفاده نکند، هزینه زمان‌بندی حداقل یک هسته فیزیکی وجود دارد. علاوه بر این، همانطور که ما در حال انجام برنامه چهار بار به صورت موازی هستیم، ممکن است اثر متقابل حافظه مثبت برای VM بزرگ که در VM جداگانه ظاهر نمی‌شود وجود داشته باشد.



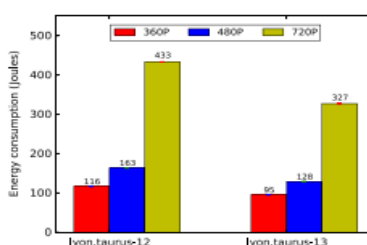
(a) Analysis time for 4 identical VMs with 1 data stream each on the same PM.



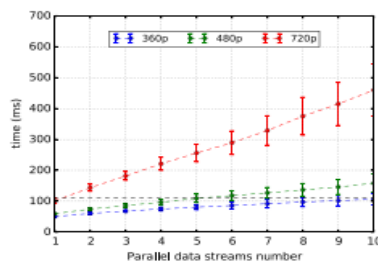
(b) Analysis time for each of the 4 data stream processes in a large VM.



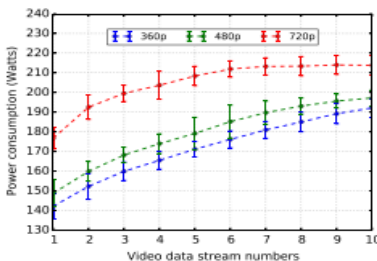
(c) Power consumption for 4 small VMs on Taurus-12 and 1 large VM on Taurus-13 for the same amount of computation.



(d) Energy consumption for analyzing a 5 mn video on Taurus-12 with 4 small VMs and on Taurus-13 with 1 large VM.



(e) Analysis time with parallel data streams in a large VM.



(f) Power consumption with parallel data streams in a large VM.

شکل ۶: مصرف انرژی و زمان رزولوشن تجزیه و تحلیل فریم در ۳۶۰p، ۴۸۰p و ۷۲۰p (اندازه‌گیری شده در سرورهای ما).

شکل ۶ (c) قدرت تورور ۱۲ را با ۴ VMs کوچک در پردازش ۱ جریان داده، و Taurus-13 با ۱ VM برای میزبانی همان ۴ جریان داده را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۶ (c) نشان داده شده است متوسط مصرف انرژی (در وات) برای پردازش ۴ جریان داده در ۱ VM بزرگتر نسبت به ۴ VM کوچک کمتر است. برای تجزیه و تحلیل ویدیو ۵ دقیقه‌ای، همانطور که در شکل ۶ (d) نشان داده شده است، VM بزرگ (VM-5 در Taurus-13) با سرعت سریع در تجزیه و تحلیل فریم و انرژی مصرفی، انرژی کمتری مصرف می‌کند.

ما همچنین مشاهده می‌کنیم هنگامی که فرمت رزولوشن افزایش می‌یابد، زمان پردازش به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد، به عنوان مثال، اگر ما انتظار داشته باشیم ۸ فریم در ثانیه (به عنوان مثال، Simoens و همکارانش [۴۵] ۱ فریم از ۲۴ تا برای تجزیه و تحلیل انتخاب کرده‌اند) برای دقت برنامه‌کاربردی مربوطه تحلیل کنیم: به منظور اطمینان

از صحت روند تجزیه و تحلیل، این توانایی باید حداکثر ممکن باشد. به این معنی که ما باید یک فریم را در هر ۳ فریم با یک ویدیو در ۲۵ فریم در ثانیه (فریم در ثانیه) تحلیل کنیم). این به این معنی است که میانگین زمان تحلیل هر فریم باید کوچکتر از ۱۲۵ میلی ثانیه باشد. برای محاسبه حداکثر تعداد ویدیوها که می تواند به صورت موازی تحلیل شود، فرض می کنیم که ۱ VM برای تجزیه و تحلیل ۱ فرمت ویدئو استفاده می شود. ما زمان تجزیه و تحلیل را در VM-5 برای یک ویدیو در فرمت های ۳ رزولوشن اندازه گیری می کنیم.

همانطور که در شکل ۶ (e) نشان داده شده است، VM بزرگ (VM-5) بر روی Taurus-13 به طور موازی تا ۱۱ جریان فیلم در رزولوشن ۳۶۰p، ۴ جریان ویدیو برای ۴۸۰p و فقط ۱ ویدیو برای ۷۲۰p پشتیبانی می کند. شکل ۶ (f) انرژی مربوطه در قالب ۳ رزولوشن برای VM بزرگ را نشان می دهد.

۵/۴ مصرف انرژی لبه و هسته ابرها

در این بخش ما اثرات تخلیه محاسبات در لبه را برای عملکرد سیستم روش پیشنهادی و مصرف انرژی در لبه و هسته ارزیابی می کنیم. ما مقیاس پذیری چارچوب خود را با افزایش تعداد وسایل نقلیه (منابع ویدئویی) مطالعه می کنیم. فرض می کنیم که هیچ مشکلی در شبکه بین لبه کاربر و لبه هسته وجود ندارد. آزمایشات در این بخش با استفاده از شبیه سازی براساس اندازه گیری واقعی در بخش قبلی انجام می شود. این شبیه سازی ها مقادیر متوسط نمایش داده شده در شکل ۶ را مشخص می کنند.

لبه معمولا در مقایسه با هسته منابع محاسباتی کمتری دارد. در تنظیمات اولیه، لبه دارای ۵ سرور و هسته ۱۰۰ سرور دارد. هر سرور لبه دارای ۲۴ پردازنده مجتمع و ۲۴ گیگابایت RAM است و سرور هسته دو برابر قدرتمندتر از سرورهای لبه است. برای اجتناب از مصرف انرژی مرتبط با قرار دادن VM، فرض می کنیم که تمام VM ها به اندازه یکسان هستند که شامل ۸ پردازنده مجتمع و ۸ گیگابایت رم در لبه است. VM ها دارای ۲۴ پردازنده مجازی و ۲۴ GB رم در هسته هستند که نشان می دهد زمان تجزیه و تحلیل کاهش می یابد. ما فقط فرمت های ویدئویی ۳۶۰p و ۷۲۰p را

در این سناریو در نظر گرفتیم تا تاثیر اختلاف در رزولوشن را بر روی مصرف انرژی و عملکرد نشان دهیم. همانطور که قبلا ذکر شد (بخش ۵.۳)، VM یک فرمت ویدیویی را پردازش می کند بنابراین VM حداکثر ۱ جریان ویدئو برای p۷۲۰، و ۱۰ جریان ویدئو برای p۳۶۰ در حالت موازی که در شکل ۶ (الف) نشان داده شده است پردازش می کند. تمام درخواست های تجزیه و تحلیل داده ها به طور پیش فرض در لبه پردازش شده است. اگر لبه منابع کافی برای پردازش نداشته باشد، درخواست به هسته منتقل می شود.

هدف این آزمایش اندازه گیری انرژی کل در لبه و هسته است. ابتدا فرض می کنیم که همه ی جریان داده p۳۶۰ است. در ابتدا، وسایل نقلیه کمی در سیستم وجود دارد. این وسایل ابتدا داده های خود را به لبه می فرستند. هنگامی که تعداد جریان داده ها افزایش یافت، مصرف انرژی لبه با پردازش این جریان داده ها افزایش می یابد. همانطور که در شکل (۷) نشان داده شده است ما توجه می کنیم که هسته هیچ انرژی قبل از محاسبات منابع لبه مصرف نمی کند. هسته شروع به پردازش داده ها می کند زمانی که تعداد جریان داده بیش از ۱۱۲ در سیستم باشد. در تصویر ۷ (b)، تمامی فیلم های p۳۶۰ با p۷۲۰ جایگزین می شوند، لبه به سرعت در هنگام پردازش منابع خود را تخلیه می کند چون فیلم های p۷۲۰ مصرف بیشتری از p۳۶۰ در محاسبات دارند. هسته اولین درخواست تجزیه و تحلیل داده را از وسیله نقلیه شانزدهم دریافت می کند. از آن لحظه، همه ورودی های جدید، برای پردازش به هسته منتقل می شوند.

در شکل ۷ (c) می توانیم تاخیر متوسط p۳۶۰ ویدئو را مشاهده کنیم که به طور قابل توجهی کمتر از ویدیوهای p۷۲۰ است. در واقع بیشتر تجزیه و تحلیل وظایف به جای هسته در لبه انجام می شود. هنگامی که لبه تمام منابع را استفاده کرد، تازه واردان در به هسته منتقل می شوند. در محدوده ۳۰۰ وسیله نقلیه، لبه قادر به پردازش ۳۷.۳٪ از جریان فیلم p۳۶۰ در سیستم است. در مقایسه با p۳۶۰، پردازش ویدیوهای p۷۲۰ پردازش کامپیوتری بسیار بیشتری را از منابع پردازش ویدیوهای p۳۶۰ مصرف می کند. لبه تنها می تواند ۵٪ از جریان داده ها را پردازش کند و باقی جریان داده ها باید برای پردازش به هسته حرکت کنند. با وجود این واقعیت که هسته دارای منابع محاسباتی قدرتمند بیشتری است که حتی ممکن است زمان تجزیه و تحلیل را کاهش دهد، تاخیر شبکه بین لبه و هسته را نمی توان

نادیده گرفت. شکل ۷ (C) همچنین نشان می‌دهد که متوسط تأخیر در کلیه ویدیوها عمدتاً بسته به تعداد داده‌ها و جریانهای تخلیه شده به هسته است. هنگام افزایش تعداد جریان داده‌ها به هسته، انرژی شبکه برای لبه ابر نیز همانند شکل ۷ (د) که نشان داده شده افزایش یافته است. با این حال، باید قابل توجه قرار گیرد که این انرژی در مقایسه با مصرف انرژی ابر تقریباً ناچیز است.

۵/۵ دقت برنامه کاربردی

تجزیه و تحلیل پردازش در فرمت‌های ویدیویی با کیفیت بالا اغلب منجر به نتایج با دقت تشخیص بیشتری می‌گردد.

جدول ۵ دقت تشخیص اشیاء مختلف از [۴۵].

کلاس‌ها	p۷۲۰	p۴۸۰	p۳۶۰
اتومبیل	۹۶.۷٪	۹۱٪	۸۸.۵٪
بدن	۹۷.۷٪	۹۴.۹٪	۹۰.۷٪
سگ	۹۶.۱٪	۹۴.۹٪	۹۰.۷٪
مجموع	۹۶.۷٪	۹۲.۳٪	۸۷.۹٪

جدول ۶ تعداد دوربین‌های مورد نیاز برای تعداد مشخصی از نودها.

تعداد nines	p۷۲۰	p۴۸۰	p۳۶۰
۹۹.۹٪	۳	۴	۶
۹۹.۹۹٪	۴	۶	۸
۹۹.۹۹۹٪	۵	۷	۱۱

اگرچه منابع محاسباتی بزرگتر از جمله CPU / RAM و پهنای باند برای انتقال مصرف می‌کند. کاهش رزولوشن یک راه برای صرفه‌جویی در محاسبات منابع و استفاده از شبکه و انرژی است. سرورهای لبه می‌تواند جریان فیلم‌های بیشتری را به صورت موازی بدون تخریب عملکرد قابل توجهی پردازش کنند. این مسئله به طور بالقوه استفاده از

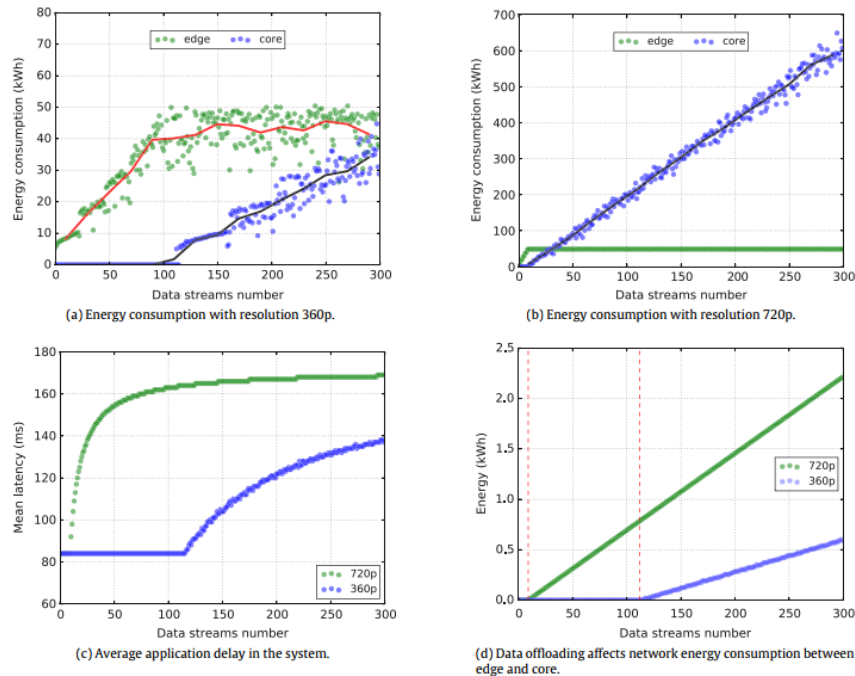
شبکه را کاهش می‌دهد، بنابراین جریان‌های ویدیویی بیشتری می‌توانند در لبه پردازش شوند با این حال، کم کردن سرعت فیلم در تشخیص دقت تاثیر می‌گذارد. همانطور که در [۴۵] ذکر شده است، کاهش رزولوشن ویدئو دقت تشخیص را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد. ما تنظیمات اولیه دقت را در این بخش برای تشخیص شی در جدول ۵ نشان می‌دهیم.

فرض بر این است که در بخش AB از جاده تنها یک ماشین وجود دارد، دقت تشخیص خودرو ۹۶.۷٪، ۹۱٪، ۸۸.۵٪ برای کیفیت $p_{۷۲۰}$ ، $p_{۴۸۰}$ و $p_{۳۶۰}$ است. حالا، فرض می‌کنیم که دو اتومبیل در همان بخش وجود دارد، دوربین‌های آنها با وضوح $p_{۳۶۰}$ ضبط می‌کنند. هنگامی که یکی از دو دوربین، شی در جاده تشخیص دهد، می‌توان در این مورد تعجب کرد، کدام دوربین باید برای نتیجه قطعی استفاده شود؟ بنابراین، ما یک دوربین با رزولوشن $p_{۷۲۰}$ جایگزین می‌کنیم. فرض کنید دو نتیجه هنوز متفاوت باشند، آیا ما همیشه باید آن باور باشیم که نتیجه با وضوح بالاتر ($p_{۷۲۰}$) به دلیل دقت تشخیص بالاتر آن به طور پیش فرض استفاده شود؟

متأسفانه، ما نمی‌توانیم به طور مستقیم نتیجه‌ی آن دو مورد را قابل اعتماد ببابیم. هر چند که فیلم‌های $p_{۷۲۰}$ اغلب دقت تشخیص بیشتری از فیلم‌های $p_{۳۶۰}$ ارائه می‌دهند، این تنها نشان می‌دهد احتمال دارد که $p_{۷۲۰}$ درست باشد، اما قطعی نیست. با این حال، افزایش تعداد دوربین‌ها، نشان می‌دهد احتمال نتیجه صحیح نه تنها بسته به دقت تشخیص اولیه است، بلکه به تعداد دوربین نیز مربوط می‌شود. فرض کنید $n + 1$ ماشین در یک بخش جاده وجود دارد. همه اتومبیل‌ها جریان ویدئو خود را با همان رزولوشن آپلود می‌کنند و سپس $n + 1$ نتیجه را به دست می‌آورند. به طور مستقیم، اگر یک نتیجه برای حداقل نیمی از تعداد کل ماشین‌ها وجود داشته باشد، ما ترجیح می‌دهیم این نتیجه را به عنوان نتیجه نهایی انتخاب کنیم. ما قابلیت اطمینان را با عنوان احتمال ظهور یک نتیجه برای بیش از $n + 1$ بار در میان $n + 1$ نتیجه تعریف می‌کنیم. ما در کار قبلی [۱۷] ثابت کردیم که این نتیجه نهایی هنگامی که تعداد دوربین‌ها افزایش می‌یابد قابل اعتماد است.

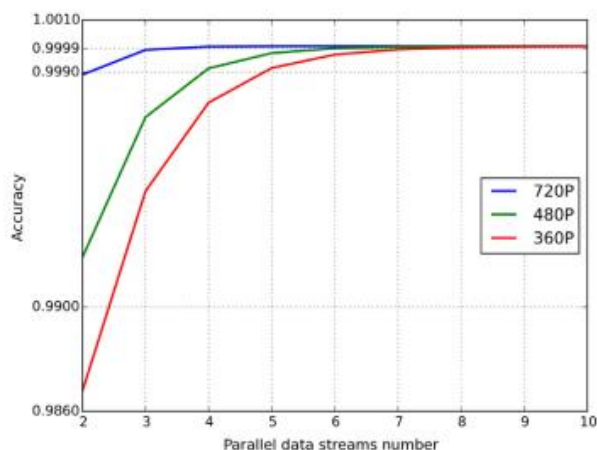
ما مفهوم **nines** را معرفی می‌کنیم که معمولاً به عنوان یک درصد با تعداد **nines** (به عنوان مثال، ۹۹٪ → دو عدد، ۹۹.۹٪ → سه عدد و غیره) بیان می‌شود. این مفهوم شبیه به مفهوم در دسترس بودن در طراحی سیستم است که هدف آن اطمینان از سطح توافق و عملکرد عملیاتی است. بنابراین می‌تواند به عنوان یک متریک مذاکره بین مشتری و ارائه دهنده ابر در یک SLA (توافق سطح خدمات) استفاده شود. از دیدگاه ارائه دهنده ابر، فرمت رزولوشن ویدئو می‌تواند به عنوان یک اهرم سبز برای برنامه کنترل شده دیده شود که اجازه تضعیف کمتری در مقابل تخصیص منابع کمتر و در نتیجه، صرفه جویی در انرژی را می‌دهد.

همانطور که در شکل ۸ و جدول ۶ نشان داده شده، وضوح $p360$ نیاز به ۶ دور بین دارد که به طور همزمان به منظور دستیابی به سه **nines** عمل می‌کند،



شکل ۷. مصرف انرژی و عملکرد در لبه و هسته Clouds

(شبیه‌سازی شده با شبیه‌ساز ما با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری ارائه شده در شکل ۶).



شکل ۸: کاربرد دقت (از فرمول آماری دقیق در [۱۷]).

۴۸۰p نیاز به ۴ دوربین دارد و ۷۲۰p نیاز به ۳ دوربین برای رسیدن به همان سطح دقت دارد. رزولوشن بالاتر، تعداد

پایین تری دوربین مورد نیاز برای رسیدن به یک سطح قابلیت اطمینان دارد.

با هماهنگی این نتایج با ارقام ارائه شده در بخش ۵.۳، می توان مشاهده کرد که برای رسیدن به بالاترین سطح از دقت

(۹۹.۹۹۹٪)، ۵ جریان ۷۲۰p مورد نیاز است، بنابراین نیاز به ۵ VM بزرگ و ۱۱ جریان ۳۶۰p، معادل تنها ۱ VM

بزرگ است. علاوه براین، هر دو گزینه تقریباً ترافیک شبکه یکسان نیاز دارند.

جدول ۷ برآورد هزینه انرژی در هر جریان ۳۶۰p برای هر بخش (با استفاده از شبیه سازی نشان داده شده در شکل

۴ و ۷ (d) و اندازه گیریهای واقعی نشان داده شده در شکل ۶ (f)).

سناریو	IoT	شبکه	ابر
ابر لبه	۱۰.۹۶ وات	۰.۰۷ وات	۳۲.۳ وات
ابر هسته	۱۰.۹۶ وات	۰.۱۱ وات	۲۲.۸ وات

از این رو، به طور واضح برآورده کردن انرژی-عملکرد به نفع فیلمها با کیفیت پایین است.

۵/۶ مصرف انرژی پایان دادن به پایان

برای مقایسه انرژی هر بخشی، هزینه هر جریان برای یک ویدیو p۳۶۰ محاسبه شده است. برای بخش ابر از شکل ۶ (f) می‌توان هزینه یک جریان واحد را در یک VM در یک سرور داده شده با فرض مصرف انرژی متناسب استاتیک سرور تخمین زد [۲۱]. سپس این هزینه با PUE از ابر (لبه یا هسته) ضرب می‌شود. برای بخش IoT ما از شکل ۴ استفاده می‌کنیم و منحنی تقریبی از یک تابع خطی برای به دست آوردن یک هزینه واحد در جریان است. این روش دقیقتر از محاسبه مقادیر به طور مستقیم است، اما اجازه می‌دهد تا مقایسه ساده تر با قطعات دیگر را امکان پذیر می‌کند. در نهایت، برای بخش شبکه، همانطور که در شکل ۷ (d)، هزینه در هر بیت با تعدادی دستگاه مختلف استفاده می‌شود (لبه ابر یا هسته ابر).

جدول ۷ هزینه انرژی محاسبه شده در هر جریان را برای ویدئو p۳۶۰ برای هر بخش همانطور که در بخش ۴ تعریف شده بسته به استفاده گزارش می‌دهد: لبه ابر یا هسته ابر. همانطور که ما از مدل‌های خطی برای به دست آوردن هزینه در هر فریم استفاده می‌کنیم، این مقادیر فرض می‌کنند که همه دستگاه‌های به کار گرفته شده یا متناسب با انرژی هستند و یا به طور کامل لود شده‌اند (به عنوان مثال زیر ساخت نسبت به تعداد کاربران بسیار مناسب است). در حالی که این می‌تواند یک فرض منطقی برای منابع محاسباتی باشد (روترها معمولاً از تکنیک‌های over-commit در مراکز داده به منظور افزایش نسبت بهره‌وری خود استفاده می‌کنند)، بنابراین برای دستگاه‌های شبکه دقیق‌تر است که تجهیزات بسیار پرکاربرد به منظور نداشتن بارگذاری بیش از حد استفاده شود. اما برای چنین مدل خشنی کافی است تا یک ایده در مورد بخش مصرف اصلی و روند کلی داشته باشد. همانگونه که ما می‌توانیم در جدول ۷ را ببینیم.

از این برآورد، می‌توانیم دریابیم که ابر (منابع محاسباتی) در هر دو مورد غالب است: لبه و هسته ابرها. اما، در مورد لبه ابر، سه چهارم هزینه کلی را نشان می‌دهد، در حالی که برای مورد هسته Cloud دو سوم را نشان می‌دهد. در هر دو مورد، بخش شبکه ناچیز است، هرچند روترها دستگاه‌های مصرف کننده بیشتری هستند با این حال، اگر آنها به طور



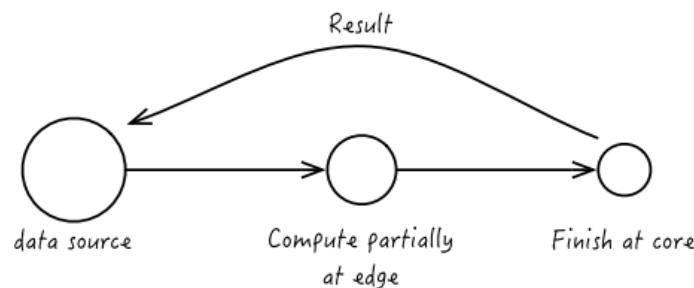
مناسب بارگذاری شده باشند، بهره وری انرژی آنها به دلیل ظرفیت های بزرگ آنها بالا خواهد بود. در نهایت بخش IoT که شامل دستگاه IoT و نقطه دسترسی است، یک چهارم از هزینه کلی برای لبه Cloud و یک سوم برای هسته ابر را در نظر می گیرد. این برآوردها برای بهره وری بهتر انرژی از زیرساخت ابر حمایت می کنند.

۶. بحث

همانطور که در بخش ۵.۴ ذکر شد، لبه قادر به تولید انرژی خود و ذخیره انرژی اضافی در باتری [۱۷] با توجه به منابع محدود محاسباتی، لبه Cloud نمی تواند از مقادیر زیادی پردازش که نیاز به رخ دادن در زمان یکسان دارند پشتیبانی کند. به این ترتیب، جریان های داده ورودی جدید باید به هسته ابر برای تجزیه و تحلیل سریع حرکت کنند. همانطور که قبلا ذکر کردیم، برای کاهش انرژی، بهتر است که قالب رزولوشن برای همه فیلم ها را با تشخیص دقت کاهش دهیم، اگر کاربر انتظار دارد دقت تشخیص بالا و مصرف انرژی کمی می خواهد، ابتدا باید اطمینان حاصل شود که داده ها در لبه پردازش شده اند. با افزایش تعداد کاربران، نه تنها تعداد سرورهای لبه، بلکه همچنین پانل های فتوولتائیک خورشیدی که قادر به تامین انرژی برای سرور هستند یا برای تبدیل به ابر هسته با عملکرد پایین از نظر تأخیر، باید افزایش یابند.

برای کاهش کل مصرف انرژی، راه حل دیگری که در شکل ۹ نشان داده شده است، شامل تغییر تقسیم کار بین لبه و هسته است. منابع محاسباتی محدود در لبه دیگر برای تجزیه و تحلیل داده ها استفاده نمی شوند، بلکه برای رمزگشایی ویدیو، نمونه برداری و رمزگذاری به طور خاص، فیلم های ۷۲۰p استفاده می شوند. حتی زمانی که تمام سرورهای لبه را می گیرید، هنوز هم سیستم به اندازه کافی برای پردازش تمام ویدیوهای ۷۲۰p در آن است. بنابراین، استفاده با دقت از منابع لبه برای بهینه سازی چارچوب کلی مهم است. همانطور که در بخش ۵ توضیح داده شده است نیاز به تجزیه و تحلیل ۸ فریم در هر ثانیه برای ویدیو در ۲۵ فریم در هر ثانیه دارد، این به این معنی است که ما از ۳ فریم ۱ فریم برای پردازش انتخاب می کنیم.

به طور خاص، ما انتظار داریم که کار نمونه‌برداری در لبه انجام شود. هنگامی که یک جریان ویدیوی جدید وارد می‌شود، لبه کار رمزگشایی، نمونه‌برداری و رمزگذاری را به صورت پیوسته بر روی این ویدئو انجام می‌دهد و سپس آن را به هسته انتقال می‌دهد. اگر چه داده‌ها باید برای پردازش هسته حرکت کنند، اندازه آنها کاهش می‌یابد و انرژی زیاد شبکه نیز کاهش می‌یابد. متأسفانه، نتیجه این سناریو ناراضی کننده است. رمزگشایی ویدیو در ۷۲۰ پیکسل بسیار زیاد است اما رمزگذاری ۱۵ واحد زمانی بیشتر از رمزگشایی زمان خواهد برد. این امر باعث می‌شود تا تاخیر اضافی (تقریباً ۱۰۰ میلی ثانیه در آزمایشات ما) اتفاق بیافتد در حالی که تاخیر در این سناریو بسیار مهم است. این فرصت برای حرکت داده‌ها را می‌توان از طریق توسعه یک چارچوب که وظایف را محاسبه می‌کند و تا حدودی در مسیر انتقال قرار دارد ایجاد کرد [۶۳].



شکل ۹. محاسبه جزئی در لبه

این گزینه همچنین می‌تواند انرژی را ذخیره کند، همانطور که در بخش ۵.۶ نشان داده شده است، بخش شبکه از نظر هزینه انرژی تقریباً ناچیز است.

در نهایت، ابر همانند، لبه یا هسته، بیشتر با بخش کوچکی از مصرف برای پلتفرم‌های IoT است، افزایش تعداد دستگاه‌ها چالش عمده‌ای برای زیرساخت‌های ابر از نظر انرژی بوجود می‌آورد. از جدول ۷، می‌توان تقریباً تخمین زد که برای یک دستگاه ۶ وات مانند یک دوربین، ارسال اطلاعات با سرعت ۵۱۴ کیلوبیت بر ثانیه اتفاق می‌افتد و پردازش داده نیاز به VM با مصرف ۵ برابری انرژی بیشتر از لبه ابر دارد.



۷. نتیجه گیری

داده‌ها ارزش خود را زمانی از دست می‌دهند که نمی‌توانند به اندازه کافی سریع تجزیه و تحلیل شوند. بارگیری اطلاعات برای پردازش جریان ویدئو در لبه به طور موثر زمان پاسخ را کاهش می‌دهد و از انتقال داده‌های غیرضروری بین لبه و هسته اجتناب می‌کند و در نتیجه باعث کاهش سرشار انرژی شبکه می‌شود. علاوه بر این، می‌تواند به عنوان مثال طول عمر باتری را از تجهیزات نهایی کاربر (به عنوان مثال، تجهیزات پوشیدنی) افزایش دهد. در همین حال، مصرف سنتی انرژی و ردپای کربن می‌تواند با ساختن لبه برق خودتولید کاهش یابد.

ما یک مدل تحلیلی برای تخمین انرژی با استفاده از Platforms IoT مبتنی بر Edge Cloud برای IoT پیشنهاد می‌کنیم. این مدل می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد تا تصمیم بگیرد که آیا محاسبات را از محاسبات اشیاء به لبه یا به هسته ابر، بسته به تعداد دستگاه‌ها و QoS برنامه مورد نظر خارج کند. این مدل را ارزیابی کردیم. نتایج ما رابطه‌ی بین تعداد دوربین‌ها، دقت برنامه و هزینه پردازش انرژی، باز کردن مسیرهای تحقیق جدید در پیدا کردن معامله مربوطه بین تخریب عملکرد و مصرف انرژی تحت سیستم‌های ابر را بیان می‌کند.

سناریو این مقاله می‌تواند به عنوان یک مثال خاص برای نشان دادن مزایای تخلیه داده‌ها برای پردازش در لبه یا هسته در زمینه صرفه‌جویی در انرژی دیده شود. علاوه بر این، هرچند این کار مبتنی بر دوربین است، می‌توان آن را به هر سناریوی دیگری اعمال کرد جایی که جریان داده‌ها نیاز به پردازش در زمان واقعی دارند.

نتایج ما همچنین غلبه‌ی مصرف ابر در هزینه انرژی کلی پلتفرم IoT را نشان می‌دهد. این غلبه در مورد لبه‌ای که در آن هزینه انرژی زیاد است، برای زیرساخت‌های Cloud نسبت به IoT و شبکه سه برابر بزرگتر است. در نتیجه، با ایجاد انفصال در دستگاه‌های متصل، بهره‌وری انرژی به ویژه برای مراکز داده کوچک، برای محدود کردن تاثیر IoT در مصرف انرژی جهانی بهبود می‌یابد.



References

- [1] Ericsson, More than 50 billion connected devices, White Paper, 2011.
- [2] D. Evans, The Internet of Things - How the Next Evolution of the Internet is Changing Everything, Cisco White Paper, 2011.
- [3] A. Nordrum, Popular Internet of Things Forecast of 50 Billion Devices by 2020 Is Outdated, IEEE Spectrum, 2016.
- [4] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, M. Ayyash, Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications, IEEE Commun. Surv. Tutor. 17 (4) (2015) 2347–2376.
- [5] S.C.B. Intelligence, Six Technologies with Potential Impacts on US Interests out to 2025, Technical Report, National Intelligent Council, 2008.
- [6] S. Abdelwahab, B. Hamdaoui, M. Guizani, A. Rayes, Enabling smart cloud services through remote sensing: An internet of everything enabler, IEEE Internet Things J. 1 (3) (2014) 276–288.
- [7] L.M. Vaquero, L. Rodero-Merino, Finding your way in the fog: Towards a comprehensive definition of fog computing, ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev. 44 (5) (2014) 27–32.
- [8] W. Hu, Y. Gao, K. Ha, J. Wang, B. Amos, Z. Chen, P. Pillai, M. Satyanarayanan, Quantifying the impact of edge computing on mobile applications, in: ACM SIGOPS Asia-Pacific Workshop on Systems, 2016, pp. 5:1–5:8.
- [9] B. Varghese, N. Wang, S. Barbhuiya, P. Kilpatrick, D.S. Nikolopoulos, Challenges and Opportunities in Edge Computing, CoRR abs/1609.01967.
- [10] T. Bawden, Global warming: Data centres to consume three times as much energy in next decade, experts warn, Independent, 2016. <http://www.independent.co.uk/environment/global-warming-data-centres-to-consume-three-times-as-much-energy-in-next-decade-experts-warn-a6830086.html>.
- [11] Í. Goiri, W. Katsak, K. Le, T.D. Nguyen, R. Bianchini, Parasol and greenswitch: Managing datacenters powered by renewable energy, ACM SIGARCH Comput. Archit. News 41 (1) (2013) 51–64.
- [12] L.D. Xu, W. He, S. Li, Internet of things in industries: A survey, IEEE Trans. Ind. Inform. 10 (4) (2014) 2233–2243.
- [13] P. Serrano, A. Garcia-Saavedra, G. Bianchi, A. Banchs, A. Azcorra, Per-frame energy consumption in 802.11 devices and its implication on modeling and design, IEEE/ACM Trans. Netw. 23 (4) (2015) 1243–1256.
- [14] H. Wu, S. Nabar, R. Poovendran, An energy framework for the network simulator 3 (NS-3), in: International Conference on Simulation Tools and Techniques, SIMUTools, 2011, pp. 222–230.
- [15] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, M. Ayyash, Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications, IEEE Commun. Surv. Tutor. 17 (4) (2015) 2347–2376.
- [16] S. Islam, J.-C. Grégoire, Network edge intelligence for the emerging next-generation internet, Future Internet 2 (4) (2010) 603–623.
- [17] Y. Li, A.-C. Orgerie, I. Rodero, M. Parashar, J.-M. Menaud, Leveraging renewable energy in edge Clouds for data stream analysis in IoT, in: IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing, CCGrid, 2017, pp. 186–195.
- [18] L. Rosyidi, R.F. Sari, Energy harvesting aware protocol for 802.11-based internet of things network, in: IEEE Region 10 Conference, TENCON, 2016, pp. 1325–1328.
- [19] Y.W. Kuo, C.L. Li, Design of long range low power sensor node for the last mile of IoT, in: IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan, ICCE-TW, 2016, pp. 1–2.
- [20] F. Jalali, K. Hinton, R. Ayre, T. Alpcan, R.S. Tucker, Fog computing may help to save energy in cloud computing, IEEE J. Sel. Areas Commun. 34 (5) (2016) 1728–1739.
- [21] M. Kurpicz, A.-C. Orgerie, A. Sobe, How much does a VM cost? Energy-proportional accounting in VM-based environments, in: Euromicro International Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing, PDP, 2016, pp. 651–658.
- [22] F. Yang, S. Wang, J. Li, Z. Liu, Q. Sun, An overview of internet of vehicles, China Commun. 11 (10) (2014) 1–15.
- [23] A. Ishii, T. Suzumura, Elastic stream computing with clouds, in: 2011 IEEE International Conference on Cloud Computing (CLOUD), IEEE, 2011, pp. 195–202.
- [24] W. Fisher, M. Suchara, J. Rexford, Greening backbone networks: Reducing energy consumption by shutting off cables in bundled links, in: ACM SIGCOMM workshop on Green networking, 2010, pp. 29–34.
- [25] S. Figuerola, M. Lemay, V. Reijs, M. Savoie, B.St. Arnaud, Converged optical network infrastructures in support of future internet and grid services using IaaS to reduce GHG emissions, J. Lightwave Technol. 27 (12) (2009) 1941–1946.
- [26] W. Zhu, C. Luo, J. Wang, S. Li, Multimedia cloud computing, IEEE Signal Process. Mag. 28 (3) (2011) 59–69.
- [27] M. Bertier, F. Desprez, G. Fedak, A. Lebre, A.-C. Orgerie, J. Pastor, F. Quesnel, J. Rouzaud-Cornabas, C. Tedeschi, Beyond the clouds: How should next generation utility computing infrastructures be designed? in: Cloud Computing, Computer Communications and Networks, Springer, 2014, pp. 325–345.
- [28] M. Satyanarayanan, The emergence of edge computing, Computer 50 (1) (2017) 30–39.
- [29] P. Viola, M. Jones, Rapid object detection using a boosted cascade of simple features, in: IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR, vol. 1, 2001, pp. 511–518.
- [30] R.E. Schapire, Y. Singer, Improved boosting algorithms using confidence-rated predictions, Mach. Learn. 37 (3) (1999) 297–336.
- [31] J. Koomey, Growth in data center electricity use 2005 to 2010, White paper, 2011.
- [32] R. Schmidt, D. Beaty, J. Dietrich, Increasing energy efficiency in data centers, ASHRAE J. (2007) 18–24.
- [33] J. Whitney, P. Delforge, Data center efficiency assessment scaling up energy efficiency across the data center industry: Evaluating key drivers and Barriers, NRD White Paper, 2014.
- [34] K. Church, A.G. Greenberg, J.R. Hamilton, On delivering embarrassingly distributed cloud services., in: HotNets, 2008, pp. 55–60.
- [35] A. Shehabi, S. Smith, N. Horner, I. Azevedo, R. Brown, J. Koomey, E. Manant, D. Sartor, M. Herrlin, W. Lintner, United states data center energy usage report, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California. LBNL-1005775 Page 4.
- [36] C. Belady, A. Rawson, J. Pfeuger, T. Cader, Green grid data center power efficiency metrics: PUE and DCIE, Technical Report, Green Grid, 2008.
- [37] Green Grid, Harmonizing global metrics for data center energy efficiency, global taskforce reaches agreement regarding data center productivity, Technical Report, The Green Grid Consortium, 2014.
- [38] M. Chowdhury, M. Zaharia, J. Ma, M. Jordan, I. Stoica, Managing data transfers in computer clusters with orchestra, in: SIGCOMM, 2011, pp. 98–109.
- [39] A.-C. Orgerie, M. Dias de Assunção, L. Lefèvre, A survey on techniques for improving the energy efficiency of large-scale distributed systems, ACM Comput. Surv. (CSUR) 46 (4) (2014) 47.
- [40] B. Bolla, R. Bruschi, F. Davoli, F. Cucchietti, Energy efficiency in the future internet: A survey of existing approaches and trends in energy-aware fixed network infrastructures, IEEE Commun. Surv. Tutor. 13 (2) (2011) 223–244.
- [41] C.W. Tsai, C.F. Lai, M.C. Chiang, L.T. Yang, Data mining for internet of things: A survey, IEEE Commun. Surv. Tutor. 16 (1) (2014) 77–97.
- [42] B.B.P. Rao, P. Saluja, N. Sharma, A. Mittal, S.V. Sharma, Cloud computing for Internet of Things amp; sensing based applications, in: International Conference on Sensing Technology, ICST, 2012, pp. 374–380.
- [43] P. Simoens, Y. Xiao, P. Pillai, Z. Chen, K. Ha, M. Satyanarayanan, Scalable crowdsourcing of video from mobile devices, in: ACM International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, 2013, pp. 139–152.
- [44] <https://www.ffmpeg.org>.
- [45] J. Diaz-Montes, M. Zou, I. Rodero, M. Parashar, Enabling autonomic computing on federated advanced cyberinfrastructures, in: ACM Cloud and Autonomic Computing Conference, ACM, 2013, p. 20.
- [46] M. Ergen, P. Varaiya, Decomposition of energy consumption in IEEE 802.11, in: IEEE International Conference on Communications, ICC, 2007, pp. 403–408.
- [47] D. Halperin, B. Greenstein, A. Sheth, D. Wetherall, Demystifying 802.11n power consumption, in: International Conference on Power Aware Computing and Systems, HotPower, 2010, pp. 1–5.
- [48] D-Link, DCS-2330L HD Wireless N Day/Night Outdoor Cloud Camera, Datasheet, 2014. http://www.dlink.com/uk/en/-/media/consumer_products/dcs/dcs-2330l/datasheet/dcs_2330l_datasheet_deu.pdf.
- [49] Libelium, Waspote technical guide, 2017. http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspote_technical_guide.pdf.
- [50] G. Auer, et al., Energy efficiency analysis of the reference systems, areas of improvements and target breakdown, Tech. rep., European Project NFSO-ICT-247733 EARTH - Deliverable D2.3 2012.
- [51] M. Deruyck, W. Vereecken, W. Joseph, B. Lannoo, M. Pickavet, L. Martens,



- 202.
- [24] E. Baccarelli, N. Cordeschi, A. Mei, M. Panella, M. Shojafar, J. Stefa, Energy-efficient dynamic traffic offloading and reconfiguration of networked data centers for big data stream mobile computing: Review, challenges, and a case study, *IEEE Netw.* 30 (2) (2016) 54–61.
- [25] S. Nedeveschi, L. Popa, G. Iannaccone, S. Ratnasamy, D. Wetherall, Reducing network energy consumption via sleeping and rate-adaptation, in: *USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation, NSDI*, vol. 8, 2008, pp. 323–336.
- [53] M. Deruyck, W. Vereecken, W. Joseph, B. Lannoo, M. Pickavet, L. Martens, Reducing the power consumption in wireless access networks: Overview and recommendations, *Prog. Electromagn. Res.* 132 (2012) 255–274.
- [54] I. Cuadrado-Cordero, F. Cuadrado, C. Phillips, A.-C. Orgerie, C. Morin, Microcities: A platform based on microclouds for neighborhood services, in: *International Conference Algorithms and Architectures for Parallel Processing, ICA3PP*, 2016, pp. 192–202.
- [55] A. Shehabi, et al., United States Data Center Energy Usage Report, Technical Report, Lawrence Berkeley National Laboratory LBNL-1005775, 2016.
- [56] A. Anjum, T. Abdullah, M. Tariq, Y. Baltaci, N. Antonopoulos, Video stream analysis in clouds: An object detection and classification framework for high performance video analytics, *IEEE Transactions on Cloud Computing*.
- [57] Y. Mao, J. Zhang, K.B. Letaief, Dynamic computation offloading for mobile-edge computing with energy harvesting devices, *arXiv preprint arXiv:1605.05488*.
- [58] N. Beldiceanu, B. Dumas Feris, P. Gravey, S. Hasan, C. Jard, T. Ledoux, Y. Li, D. Lime, G. Madi-Wamba, J.-M. Menaud, P. Morel, M. Morvan, M.-L. Moulinard, A.-C. Orgerie, J.-L. Pazat, O.H. Roux, A. Sharaiha, Towards energy-proportional Clouds partially powered by renewable energy, *Computing* (2016) 20.
- [59] ns3 network simulator, <http://www.nsnam.org/ns-3-11/>.
- [60] Y. Li, A.-C. Orgerie, J.-M. Menaud, Opportunistic scheduling in clouds partially powered by green energy, in: *GreenCom: IEEE International Conference on Green Computing and Communications*, 2015, pp. 448–455.
- [61] V. Shrivastava, S. Rayanchu, J. Yoonj, S. Banerjee, 802.11n under the microscope, in: *ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement, IMC*, 2008, pp. 105–110.
- [62] D. Balouek, et al., Adding virtualization capabilities to the grid'5000 testbed, in: *Cloud Computing and Services Science*, vol. 367, Springer, 2013, pp. 3–20.
- [63] I. Petri, J. Diaz-Montes, M. Zou, O.F. Rana, T. Beach, H. Li, Y. Rezgui, In-transit data analysis and distribution in a multi-cloud environment using Comet-Cloud, in: *International Conference on Future Internet of Things and Cloud, FiCloud*, 2014, pp. 471–476.