

تحلیل اثر کانال بی سیم بر کارایی محاسبات لبه برای اینترنت اشیا

غزل جباری^{۱*}، علی قیاسیان^۲

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهرکرد، ghazal_jabbari@stu.sku.ac.ir

^۲عضو هیات علمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهرکرد، Ghiasian.ali@sku.ac.ir

چکیده: ظهور فناوری اینترنت اشیا باعث شده است تا دستگاه های مختلف به طور گسترده به اینترنت متصل بوده و با یکدیگر در تعامل باشند. همین مسئله سبب تولید حجم زیادی از داده می شود که نیاز به پردازش دارند. این امر منجر به مصرف انرژی زیاد و کاهش کیفیت سرویس می گردد. از سوی دیگر محاسبات لبه منافع زیادی را به عنوان رویکرد امیدوار کننده برای افزایش توانایی محاسباتی و مدیریت حافظه ی دستگاه های متصل به اینترنت مثل تلفن همراه به ارمغان آورده است. انتظار می رود که این رویکرد به کاهش توان مصرفی و تاخیر اجرای وظایف محاسباتی منجر شود. لیکن شرایط کانال بی سیم که به عنوان بستر انتقال اطلاعات از اشیا به محیط لبه به کار گرفته می شود در رسیدن به هدف فوق کاملا تاثیرگذار است. در این مقاله نقش کانال بی سیم در کارایی واگذاری اطلاعات به محیط لبه مورد بررسی قرار میگیرد. نتایج بدست آمده نشان می دهند که واگذاری اطلاعات همیشه باعث کمینه شدن انرژی مصرفی و تاخیر نخواهد شد و تصمیم گیری درست و بهینه در خصوص واگذاری وظایف به محیط لبه یا اجرای آن در خود اشیا باید با در نظر گرفتن شرایط کانال بی سیم باشد.

کلید واژه ها: اینترنت اشیا، کانال بی سیم، محاسبات لبه، واگذاری

انجام وظایف پیچیده و در دسترس بودن منابع محدود هر روز افزایش می یابد [۱].

۱- مقدمه

یکی از راه حل های پیشنهاد شده برای رفع مشکل فوق، استفاده از محاسبات لبه (Edge Computing=EC) است که به عنوان یکی از اجزای کلیدی شبکه های نسل آینده بی سیم برای بهبود شرایط سیستم به شمار می رود. محاسبات لبه با فراهم آوردن سرورهای پردازشی در فواصل نزدیک به کاربران می تواند به نیازهای پردازشی کاربردهای حساس به تاخیر و بلادرنگ به طور موثر و کارآمدی پاسخ دهد. در این محاسبات و همچنین در دیگر محاسبات پردازشی، علاوه بر پردازنده ها، فضای ذخیره سازی داده نیز برای کاربران فراهم می شود. در مقایسه با محاسبات ابری (Cloud Computing=CC)، محیط لبه نزدیکی بیشتری به کاربر نهایی دارد که این امر منجر به کاهش تاخیر تبادل داده در EC نسبت به CC می شود [۲].

EC علاوه بر آنکه در اجرای وظایف پردازشی سنگین به موبایل ها کمک می کند، می تواند منجر به کاهش مصرف انرژی موبایل ها و افزایش طول عمر باتری آن ها نیز بشود. ولی برای نیل به این هدف مهم لازم است در واگذاری وظایف (Task Offloading) از موبایل به محیط لبه، روش های هوشمندی تدوین شود که در آن ها علاوه بر نیازهای محاسباتی موبایل ها، چالش های مربوط به کانال بی سیم نیز در نظر گرفته شود.

در [۳] عباس و همکاران مفاهیم اساسی مربوط به ابر و لبه را به طور جامع ارائه داده اند و الزامات ضروری را که برای استفاده از

در چند سال اخیر شاهد توسعه چشمگیر فناوری اطلاعات تلفن همراه بوده ایم. دستگاه های تلفن همراه به یک بخش ضروری از زندگی دیجیتال ما تبدیل شده اند زیرا می توانند ابزارهای ارتباطی را تقریباً در هر زمان و از هر مکان ارائه دهند. همچنین امروزه افزایش رشد فناوری هایی نظیر اینترنت اشیا و اینترنت همراه باعث شده است تا اشیا و افراد زیادی بتوانند به اینترنت متصل شوند. اینترنت اشیا (Internet of Things=IoT) فناوری است که ابعاد مختلف زندگی انسان را تحت تاثیر قرار داده است. ظهور و روند رو به رشد اینترنت اشیا و مفاهیم آن در سال های اخیر، منجر به ورود دنیای اینترنت به اشیا شده است. مفهومی که تا به امروز پیشرفت های چشم گیری از نظر فنی و فناوری داشته است. این تعداد دستگاه متصل به اینترنت منجر به تولید حجم انبوهی از داده با تنوع زیاد شده است. همان طور که حجم داده های تولید شده توسط دستگاه ها افزایش می یابد، نیازهای پردازشی آنها نیز به سرعت در حال رشد است.

با سرعت بخشیدن به محاسبات تلفن همراه، خدمات تلفن همراه نیز توسعه یافته و اهمیت فراوانی پیدا کرده است. با این حال، واضح است که دستگاه های تلفن همراه دارای محدودیت های زیادی در منابع سخت افزاری خود، عمر باتری، ذخیره سازی، پهنای باند و قابلیت های ارتباطی هستند. به این ترتیب شکاف بین تقاضا برای

بهینه سازی مشترک منابع رادیویی و منابع محاسباتی مطرح کردند. در ادامه آن‌ها با تعیین CPU های مشخص برای هر کاربر تلفن همراه سعی بر کاهش مصرف انرژی کاربران و در عین حال محدود کردن زمان تاخیر داشتند. همچنین گنو و همکاران [۹] یک سیاست مبتنی بر آستانه را برای بهبود کیفیت خدمات با همکاری ابرهای محلی و منابع ابر اینترنت طراحی کردند. به این ترتیب آن‌ها توانستند مزایای تاخیر کم و منابع فراوان اینترنت ابر را به طور همزمان به ارمغان آورند. باربارسا و همکاران [۱۰] نیز ابتدا مجموعه ای از مکانیسم های واگذاری را بررسی کردند و در ادامه به ارائه یک فرمول ریاضی با هدف بهینه سازی ارتباطات و منابع محاسباتی با توجه به محدودیت زمان و انرژی پرداختند. چن در [۱۱] مسئله تصمیم گیری واگذاری محاسبات را در بین کاربران دستگاه های تلفن همراه از طریق رایانش ابری متحرک در نظر گرفت و برای دستیابی به واگذاری محاسبات کارآمد، رویکرد نظریه ی بازی را پیشنهاد داد. وانگ و همکاران [۱۲] مسئله ی خدمت دهی در محاسبات لبه ی موبایل را مورد بررسی قرار دادند و فرآیند تصمیم گیری مارکوف را بر اساس چارچوب تصمیم گیری واگذاری متوالی پیشنهاد کردند. در [۱۳] ژانگ و همکاران سیاست های واگذاری انرژی کارآمد برای وظایف را در سیستم، مورد بررسی قرار دادند و آن‌ها ضمن دستیابی به تاخیر کم، مصرف انرژی رمزگذاری شده روی دستگاه های موبایل در فضای ابری را به حداقل رساندند. همچنین یک الگوریتم آنلاین برای ارسال وظایف به موتورهای خدمت ارائه دادند که می تواند ضمن دستیابی به ثبات صف، مصرف انرژی را کاهش دهد. در [۱۴] لین و همکاران یک چارچوب تصمیم گیری برای واگذاری محاسبات طراحی و اجرا کردند. این چارچوب تصمیم، براساس زمان اجرا و مصرف انرژی تخمین زده شده است. چن و همکاران [۱۵] مسئله ی تصمیم گیری واگذاری و همچنین تخصیص منابع ارتباطی را در محیط ابر به عنوان یک مسئله ی بهینه سازی غیر محدب ارائه دادند و سپس با ارائه ی یک راه حل تقریبی به حل مسئله پرداختند. همچنین در [۱۶] دنگ و همکاران در محیطی متشکل از مه-ابر به بررسی تعامل و همکاری بین لبه (مه) و هسته (ابر) پرداخته اند. آن‌ها همچنین یک مسئله ی تخصیص بار را محاسبه کرده اند که پیشنهاد می کند تامین بار مطلوب بین مه و ابر با کمترین تاخیر و کمترین مصرف توان باشد. به عبارت دیگر فضایی برای بالانس داده بین ابر و مه فراهم کرده اند.

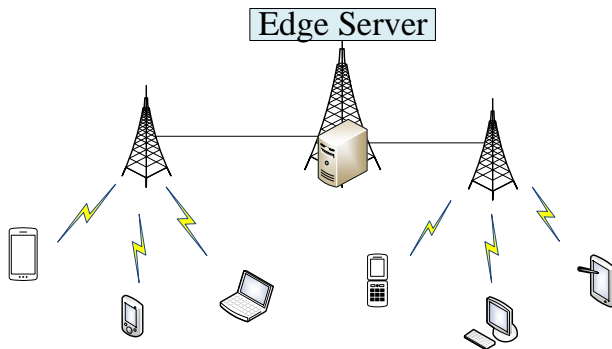
مقالات فوق توجه ویژه به محیط لبه و چالش های آن و همچنین نحوه ی واگذاری وظایف در محیط های رایانشی دارند ولی در آن‌ها

محاسبات لبه باید رعایت شود، بیان کرده اند. آنها نشان دادند که می توان با ارائه ی راه حل های مناسب، چالش ها و محدودیت های این محاسبات را جبران کرد. یو و همکاران [۴] محاسبات لبه را به عنوان الگویی مناسب برای حل چالش های اینترنت اشیا و نیاز-های محاسباتی آن ارائه دادند. آن‌ها محاسبات لبه را بر اساس معماری، در گروه های مختلف دسته بندی کردند و به بررسی و مقایسه ی عملکرد آن در خصوص تاخیر، اشغال پهنای باند، و مصرف انرژی پرداختند. مائو و همکاران [۵] به بررسی روش های مدل سازی در اجزای اصلی سیستم های محاسبات لبه موبایل با هدف مشخص کردن میزان تاخیر و مصرف انرژی پرداختند و دیدگاه جامع و چشم انداز مناسبی در مورد محاسبات لبه موبایل ارائه دادند. ژانگ و همکاران [۶] مکانیسم های واگذاری اطلاعات به محیط لبه را در شبکه های ناهمگن نسل پنجم بررسی کردند. آن‌ها همچنین مسئله ای را برای به حداقل رساندن مصرف انرژی مطرح کردند و طرحی را به عنوان راه حل آن ارائه دادند. نتایج نشان می دهد که طرح ارائه شده به طور مشترک تصمیمات واگذاری محاسبات و راه حل های تخصیص منابع را بهینه می کند. وانگ و همکاران [۲] بر روی مسئله واگذاری محاسباتی تمرکز داشته اند و سعی کردند با مدیریت سیستم و جلوگیری از بروز تداخل در شبکه، تصمیمی برای واگذاری بار وضع کنند و مصرف انرژی و زمان اختصاص یافته را بهینه نمایند. آن‌ها در آخر نشان داده اند که فعالیتشان به صورت مشترک بر روی مسئله ی واگذاری بار و مدیریت تداخل با تعیین و تخصیص منابع فیزیکی با استفاده از روش رنگ آمیزی گراف می تواند به بهبود عملکرد سیستم بیانجامد. لیو و همکاران [۱] واگذاری محاسباتی بار را به طور عمده در محیط محاسبات مبتنی بر مه انجام دادند و سعی کرده اند که با بهینه سازی انرژی، زمان و هزینه ها مدلی مبتنی بر محیط مه همراه با محیط ابری مطرح کنند و مزیت های اشتراک این دو مدل را بررسی نمایند. به این ترتیب آن‌ها نتایج تحلیلی خود را در مورد مصرف انرژی، عملکرد تاخیر و هزینه پرداخت، با توجه به مدل سازی صف برای سرورها ارزیابی کردند. دنگ و همکاران [۷] یک مشکل واگذاری محاسباتی تلفن همراه را در نظر گرفتند که در آن چندین خدمت تلفن همراه برای برآورده ساختن الزامات پیچیده مورد استفاده قرار می گیرند و تصمیم می گیرند که آیا وظایف باید واگذاری شود یا خیر. سردلیتی و همکاران [۸] یک سیستم سلولی چند ورودی چند خروجی را در نظر می گیرند که در آن چندین کاربر تلفن همراه، درخواست واگذاری محاسبات به یک سرور ابر را دارند. به این ترتیب مسئله واگذاری را با هدف

۲- معرفی طرح پیشنهادی و معادلات ریاضی

در این بخش معماری طرح پیشنهادی و روابط حاکم بر آن ارائه خواهد شد.

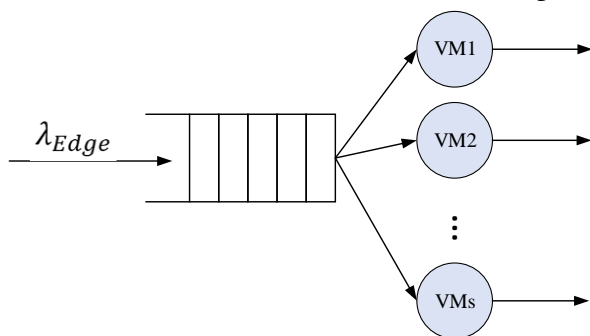
۲-۱- مدل سیستم



شکل (۱): مدل سیستم پیشنهادی

با توجه به شکل (۱) فرض می‌کنیم سیستم ما در لایه فیزیکی از U کاربر (اشیا هوشمند)، سرور لبه و تعدادی ایستگاه پایه (Base Station) که به یک ایستگاه پایه اصلی متصل است تشکیل شده است. به این ترتیب کاربران از طریق ایستگاه پایه به محیط لبه متصل می‌شوند.

نیازهای محاسباتی به صورت ترافیک های تصادفی در محل کاربران مدل می‌شود. به دلیل ماهیت تولید تصادفی این نوع از درخواست‌ها در اشیاء، از ابزار تئوری صف برای مدل کردن نحوه نگهداری و خدمت دهی به آنها استفاده می‌کنیم. به همین منظور سرور لبه دارای S ماشین مجازی (Virtual Machine) برای خدمت می‌باشد. مدل صف موجود در محیط لبه طبق شکل زیر مشخص شده است.



شکل (۲): مدل صف در سرور لبه

برای محاسبات محلی داخل اشیاء از مدل صف $M/M/1$ و برای انجام محاسبات در سرورهای لبه از مدل صف $M/M/S$ استفاده می‌کنیم. در واقع فرض می‌کنیم که تولید درخواست‌های محاسباتی از فرآیند تصادفی پواسن پیروی می‌کند و متوسط نرخ

به خطای کانال بی سیم و تاثیر آن در واگذاری محاسبات به محیط لبه اشاره‌ای نشده است.

ما در این مقاله قصد داریم تاثیر تغییرات شرایط کانال را بر انرژی مصرف شده و همچنین تاخیر، زمانی که وظایف به محیط لبه واگذار می‌شود بررسی نماییم. برای این منظور با معرفی پارامتر احتمال خطای کانال، مدلی طراحی خواهیم کرد که در آن در صورت رخداد خطا ارسال مجدد اطلاعات با استفاده از دو روش درخواست تکرار خودکار اطلاعات (Automatic Repeat Request = ARQ) و درخواست تکرار خودکار ترکیبی (Hybrid ARQ) صورت پذیرد و اطلاعات از اینترنت اشیاء به سرورهای لبه در محیطی بی‌سیم با وضعیت مشخص کانال منتقل شود.

درخواست تکرار خودکار اطلاعات (ARQ)، یک روش کنترل خطا برای انتقال داده است که از تأییدیه‌ها (پیام های ارسال شده توسط گیرنده که نشان می‌دهد بسته را به درستی دریافت کرده است) برای دستیابی به انتقال داده قابل اعتماد از طریق یک کانال ارتباطی غیر قابل اعتماد استفاده می‌شود. همچنین درخواست تکرار خودکار ترکیبی، ترکیبی از کدینگ کنترل خطا (Forward Error Correction = FEC) و درخواست تکرار خودکار (ARQ) است. در درخواست تکرار خودکار ترکیبی داده های اصلی با کدینگ کنترل خطا (FEC) کدگذاری شده و بیت‌های FEC بلافاصله به همراه پیام ارسال می‌شوند. درخواست تکرار خودکار ترکیبی در شرایط سیگنال ضعیف در گیرنده عملکرد بهتری نسبت به درخواست تکرار خودکار معمولی دارد.

ساختاری که در ادامه‌ی این مقاله ارائه خواهیم داد به این شرح است که در بخش دوم طرح پیشنهادی مبنی بر بررسی تاثیر واگذاری بر مصرف انرژی و تاخیر تحت شرایط کانال دارای خطا معرفی شده و در بخش سوم نتایج شبیه سازی تحلیل می‌شود. در بخش چهارم نتیجه گیری از این مقاله ارائه خواهد شد.

ارسال مجدد اطلاعات صورت پذیرد و اطلاعات از اشیا هوشمند به سرور لبه در محیط بی سیم با وضعیت مشخص کانال منتقل شود.

۲-۲-۲ - کانال بی سیم

برای اینکه کانال بی سیم با شرایط واقعی مدل شود لازم است تلفات مسیر، توان نویز و محوشوندگی برای آن در نظر گرفته شود. توان نویز کانال به صورت سفید گوسی جمع شونده (AWGN) مدل می شود.

۲-۲-۱- تلفات فضای آزاد

اگر در کانالی P_r توان دریافتی و P_t توان ارسالی سیگنال (با واحد وات) باشند و همچنین G_r و G_t بهره ارسالی از مبدا و بهره دریافتی در مقصد باشند می توان تلفات فضای آزاد را به صورت زیر نمایش داد [۱۸].

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\sqrt{G_r G_t} \lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (۴)$$

$$P_r = P_t K \left[\frac{d_0}{d} \right]^n \quad (۵)$$

و تلفات مسیر به شرح زیر نمایش داده می شود

$$P_L = \frac{P_t}{P_r} \quad (۶)$$

مقدار تلفات بر حسب دسی بل را به صورت رابطه (۷) می توان نوشت:

$$P_L \text{ db} = 10 \log_{10} \frac{P_t}{P_r} \quad (۷)$$

و توان دریافت شده بر حسب دسی بل به صورت رابطه (۸) است.

$$P_r \text{ db} = P_t \text{ db} + K \text{ db} - 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (۸)$$

در این روابط n توان تلفات فضای آزاد است که برای شهری با جمعیت بالا مقداری بین 4 تا 5 دارد. همچنین d_0 فاصله مرجع و d فاصله (با واحد متر) می باشد. k نیز مقدار ثابتی حاصل از بهره های فرستنده و گیرنده و طول موج است.

۲-۲-۲- محوشوندگی رایلی

اگر توان دریافتی در گیرنده در کانال محوشوندگی رایلی را با γ نشان دهیم ثابت شده است که γ دارای توزیع نمایی خواهد بود [۱۸]. و لذا:

$$P_{\gamma_b}(\gamma) = \frac{1}{\bar{\gamma}_b} \exp(-\gamma/\bar{\gamma}_b) \quad (۹)$$

که در رابطه (۹)، $\bar{\gamma}_b$ طبق محاسبات زیر بدست می آید.

آن در هر کاربر i ، برابر با λ_i می باشد. کاربرانی که مایل به دریافت خدمت از محیط لبه باشند درخواست های محاسباتی را با احتمال واگذاری P_i^0 به سرور لبه ارسال می کنند. بنابراین درخواست های خدمت از سرور، نرخ متوسطی برابر با $\lambda_i P_i^0$ برای کاربر i خواهند داشت و درخواست هایی که به صورت محلی پاسخ داده می شود دارای نرخ متوسط $\lambda_i(1 - P_i^0)$ هستند.

پردازنده موجود در اشیا علاوه بر کاربردهای خاص اینترنت اشیا، یک سری پردازش های ثانویه و پس زمینه مربوط به سیستم عامل و غیره را نیز باید انجام دهد. مقدار نرمالیزه شده این بارهای پردازشی را با $load_i$ نشان می دهیم به نحوی که $0 \leq load_i < 1$ و مقدار $load_i = 0$ بدین معناست که ظرفیت پردازنده کاملاً در اختیار پردازش درخواست های مربوط به محاسبات IoT می باشد. اگر c_i ظرفیت محاسباتی (با واحد Million Instructions Per Second=MIPS) پردازنده شیء i ام باشد می توان متوسط زمان پاسخ هر کاربر در محاسبات محلی را با در نظر گرفتن مدل صف M/M/1 به صورت زیر نوشت [۱۷].

$$T_i^{loc}(P_i^0) = \frac{1}{c_i(1 - Load_i) - (1 - P_i^0)\lambda_i} \quad (۱)$$

فرض می کنیم شرط لازم برای پایداری صف یعنی $c_i(1 - Load_i) > (1 - P_i^0)\lambda_i$ برقرار است. زمانی که درخواست کاربر به محیط لبه ارسال می شود باید تداخل احتمالی به وجود آمده تحت تاثیر کاربران دیگر را نیز در نظر گرفت. نرخ داده ای ارسالی برای محاسبات واگذار شده به محیط لبه برای هر کاربر طبق رابطه (۲) که به رابطه شانون معروف است قابل محاسبه می باشد:

$$R_i = W \log_2(1 + SNR_i) \quad (۲)$$

در رابطه (۲)، SNR_i نسبت توان سیگنال به توان نویز AWGN موجود در سیستم و W پهنای باند کانال است. همچنین می توان زمان ارسال هر درخواست برای واگذاری اطلاعات را نیز با در نظر گرفتن IS_i به عنوان اندازه ای داده ای محاسباتی ورودی (با واحد بیت) و T_0 به عنوان تاخیر ثابتی که برای انتقال داده به ایستگاه پایه ای اصلی مورد نیاز است محاسبه کرد.

$$T_i^T(P_i^0) = \left(\frac{IS_i}{R_i} + T_0 \right) \quad (۳)$$

در ادامه لازم است به بررسی شرایط کانال برای واگذاری اطلاعات بپردازیم. هدف ما این است که رابطه احتمال خطا را در کانال در نظر بگیریم و مدلی طراحی کنیم که در آن در صورت رخداد خطا،

$$E_i^{loc}(P_i^O) = v_i T_i^{loc}(P_i^O) \quad (16)$$

همچنین می توان به انرژی مصرفی برای ارسال درخواست ها از اشیا هوشمند به ایستگاه های پایه که به صورت زیر نوشته می شود اشاره کرد.

p_i توان انتقال هر کاربر i (با واحد وات) را مشخص می کند.

$$E_i^T(P_i^O, p_i) = p_i E[X] \left(\frac{IS_i}{R_i} + T_0 \right) \quad (17)$$

همان طور که قبلا اشاره شد ما فرض می کنیم S ماشین مجازی در سرور لبه وجود دارند. نرخ خدمت برای هر ماشین مجازی با μ_{Edge} (با واحد MIPS) نشان داده می شود. درخواست ها از کاربران مختلف در سیستم با نرخ کلی λ_{Edge} جمع می شوند. با توجه به خواص فرآیند پواسن، λ_{Edge} به شرح زیر قابل محاسبه است [۱].

$$\lambda_{Edge} = \sum_{i=1}^U \lambda_i P_i^O \quad (18)$$

به این منظور، براساس تجزیه و تحلیل صف $M/M/S$ در محیط لبه و فرمول Erlang، مقدار بهره وری از سرور به صورت زیر تعریف می شود [۱۹].

$$\rho_E = \frac{\lambda_{Edge}}{S \mu_{Edge}} \quad (19)$$

بنابراین، میانگین زمان انتظار هر درخواست در لبه که شامل زمان انتظار و زمان اجرا می باشد و همچنین زمان انتظار هر درخواست تا قبل از اینکه به طور کامل تحویل داده شود به شرح زیر نشان داده می شود [۱۹], [۲۰].

$$T_{Wait}^{Edge}(\lambda_{Edge}) = \frac{Err(S, \rho_E)}{S \mu_{Edge} - \lambda_{Edge}} + \frac{1}{\mu_{Edge}} \quad (20)$$

که

$$Err(S, \rho_E) = \frac{\left(\frac{S \rho_E}{S!} \right) \left(\frac{1}{1 - \rho_E} \right)}{\sum_{z=0}^{S-1} \frac{(S \rho_E)^z}{z!} + \left(\frac{S \rho_E}{S!} \right) \left(\frac{1}{1 - \rho_E} \right)} \quad (21)$$

حال می توان انرژی مصرفی هر کاربر و همچنین متوسط انرژی همه ی کاربران را به صورت زیر محاسبه کرد.

$$E_i(P_i^O, p_i) = (1 - P_i^O) E_i^{loc}(P_i^O) + P_i^O E_i^T(P_i^O, p_i) \quad (22)$$

$$E(P_i^O, p_i) = \frac{1}{U} \sum_{i=1}^U E_i(P_i^O, p_i) \quad (23)$$

$$EB_i = \frac{SNR_i}{R_i}, \quad \bar{v}_b = \frac{EB_i}{e} \quad (10)$$

در رابطه ی (۱۰)، EB_i نرمالیزه شده ی مقدار SNR_i می باشد و e نیز پارامتر تداخل بین کاربران است. متوسط احتمال خطا برای مدولاسیون BPSK در محو شونگی رایلی برای \bar{v}_b بزرگ، برابر است با [۱۸].

$$q = \frac{1}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{\bar{v}_b}{1 + \bar{v}_b}} \right] \approx \frac{1}{4\bar{v}_b} \quad (11)$$

۳-۲-۲- احتمال ارسال موفق

حال اگر بخواهیم احتمال اینکه چند بار باید یک بیت ارسال شود تا بصورت موفقیت آمیز به مقصد برسد را بدست آوریم باید از توزیع هندسی استفاده کنیم.

اگر Y احتمال موفقیت یک ارسال بدون رخداد خطا باشد:

$$X \sim Ge(Y) \quad (12)$$

$$P(X = a) = (1 - Y)^{a-1} Y$$

با توجه به رابطه امید ریاضی:

$$E[X] = \sum_{a=0}^{\infty} P(X = a) a \quad (13)$$

متوسط تعداد دفعاتی که باید یک بیت ارسال شود تا بدون خطا به مقصد برسد:

$$E[X] = 1/Y \quad (14)$$

قابل ذکر است که در رابطه (۱۴)، Y برابر با $(1 - q)$ می باشد. با توجه به مطالب گفته شده، رابطه (۳) به صورت زیر قابل بازنویسی است.

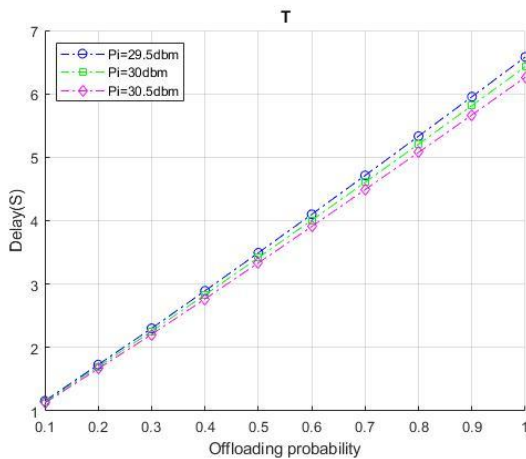
$$T_i^T(P_i^O) = E[X] \left(\frac{IS_i}{R_i} + T_0 \right) \quad (15)$$

حال برای محاسبه انرژی مصرفی کاربران باید دو حالت را در نظر گرفت:

- انرژی مصرفی هر کاربر برای درخواست هایی که به صورت محلی پردازش خواهند شد.
- انرژی مصرفی برای ارسال داده ها به ایستگاه های پایه.

$E_i^{loc}(P_i^O)$ انرژی مصرفی درخواست هایی است که به صورت محلی پردازش می شوند. لازم به ذکر است که v_i ضریب انرژی است که نشان دهنده توان (با واحد وات) اجرای محلی هر کاربر می باشد و مربوط به ماهیت ذاتی اشیا هوشمند است. به منظور سادگی، فرض می کنیم v_i در طول زمان انتظار و فرآیند محاسبه ثابت است.

شده است. همان طور که ملاحظه می شود با افزایش احتمال واگذاری اطلاعات با توجه به شرایط کانال بی سیم، انرژی مصرف شده کاهش یافته است. این کاهش انرژی بسته به توان فرستنده تا یک احتمال مشخصی ادامه داشته و بعد از آن روند نمودار افزایشی می شود. اگر توان فرستنده 30.5dbm باشد احتمال واگذاری ۰,۷ کمترین مقدار مصرف انرژی را نتیجه می دهد و به عبارتی نقطه بهینه (کمینه) منحنی مصرف انرژی است. این درحالی است که اگر توان فرستنده را به 29.5dbm کاهش دهیم با احتمال واگذاری ۰,۹ کمترین انرژی مصرفی بدست می آید. نکته دیگر آنکه هرچقدر توان فرستنده بیشتر باشد، انرژی کل مصرفی آن کمتر شده است (تفاوت انرژی مصرفی سه منحنی بایکدیگر). دلیل این امر آن است که احتمال وقوع خطا در ارسال و در نتیجه ارسال های مکرر کاهش می یابد. به عبارتی با افزایش توان فرستنده، طبق رابطه (۱۰) SNR_i افزایش، $\bar{\gamma}_b$ افزایش و طبق رابطه (۱۱) احتمال خطای انتقال کاهش می یابد. بنابراین تعداد ارسال های تکراری برای رسیدن سالم پیام کاهش یافته و در نتیجه انرژی کل مصرف شده تجهیز نیز کاهش یافته است.



شکل(۴): تاثیر احتمال واگذاری اطلاعات بر انرژی مصرفی در $n=3.5$

در شکل (۴) نیز برای حالت تک کاربر در شرایطی که توان تلفات فضای آزاد برابر با ۳,۵ باشد ($n=3.5$) نمودار تاخیر ایجاد شده در سیستم بر حسب احتمال واگذاری در توان های ارسالی متفاوت نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می شود با افزایش احتمال واگذاری و به طبع افزایش طول صف، تاخیر نیز افزایش می یابد. قابل مشاهده است که در احتمال واگذاری بالا اگر توان فرستنده 30.5dbm باشد نسبت به زمانی که توان فرستنده را به 29.5dbm کاهش دهیم تاخیر کاهش یافته است (تفاوت تاخیر سه

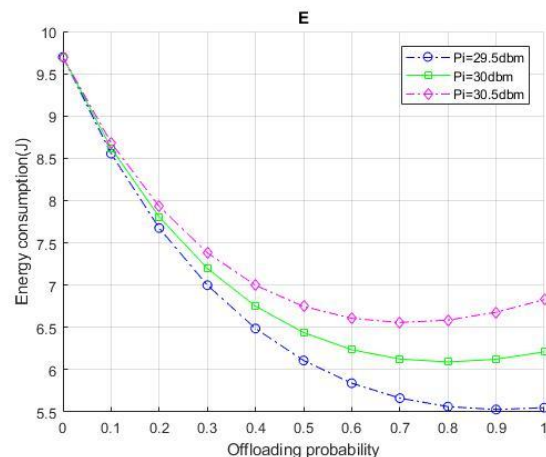
تاخیر ایجاد شده در سیستم و متوسط تاخیر، در رابطه ی (۲۴) و (۲۵) مشخص شده است.

$$T_i(P_i^0) = (1 - P_i^0)T_i^{loc}(P_i^0) + P_i^0 T_i^T(P_i^0) + P_i^0 (T_{Wait}^{Edge}) \quad (24)$$

$$T(P_i^0) = \frac{1}{U} \sum_{i=1}^U T_i(P_i^0) \quad (25)$$

۳- شبیه سازی

در این بخش به بررسی نتایج شبیه سازی طرح ارائه شده ی خود می پردازیم. ما تاثیر احتمال واگذاری اطلاعات را بر روی تاخیر و انرژی مصرفی مورد نقد قرار خواهیم داد و نتایج را برای دو سناریو تک کاربر و چند کاربر بررسی و مشاهده خواهیم کرد. همچنین قصد داریم با تغییر شرایط کانال از جمله تغییر در میزان توان ارسالی هر کاربر و تغییر در توان تلفات فضای آزاد نشان دهیم که واگذاری کامل اطلاعات به محیط های پردازشی، بدون اتخاذ شرایطی مناسب، کمکی به کاهش انرژی و تاخیر سیستم نمی کند. فرض می شود که تعداد ماشین مجازی در سرور لبه $S=3$ و تعداد کاربران در حالت چند کاربر $U=10$ می باشد. ابتدا شبیه سازی ها برای یک کاربر ($U=1$) انجام شده است و در ادامه نتایج به حالت چند کاربره گسترش داده می شود. لازم به ذکر است که در حالت تک کاربر پارامتر تداخل در رابطه (۱۰) برابر با ۱ قرار داده می شود.



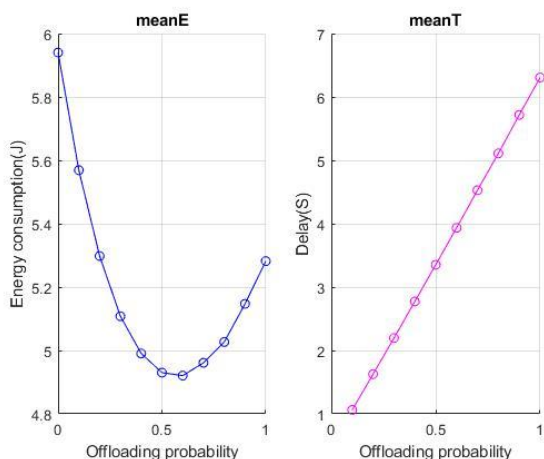
شکل(۳): تاثیر احتمال واگذاری اطلاعات بر انرژی مصرفی در $n=3.5$

در شکل (۳) برای حالت تک کاربر در شرایطی که توان تلفات فضای آزاد برابر با ۳,۵ باشد ($n=3.5$) نمودار انرژی مصرف شده بر حسب احتمال واگذاری در توان های ارسالی متفاوت نشان داده

و (۵) نشان می دهد که یک احتمال واگذاری بهینه که وابسته به شرایط کانال است وجود دارد. این موضوع می تواند منجر به طرح یک مسئله بهینه سازی شود که به عنوان کار آینده این تحقیق مدنظر خواهد بود.

در شکل (۶) افزایش احتمال واگذاری باعث طولانی شدن طول صف و افزایش تاخیر شده است. در مقایسه با شکل (۴) مشخص می شود که تضعیف بیشتر سیگنال در کانال بی سیم (n بزرگتر) منجر به تاخیر بیشتر می شود زیرا با توجه به رابطه (۸) با افزایش n ، توان دریافتی کاهش و در نتیجه SNR کاهش می یابد. بنابراین احتمال خطای کانال بی سیم افزایش یافته و تعداد دفعات ارسال برای موفقیت بیشتر می شود. طبق رابطه (۱۵) زمان ارسال هر درخواست و در نتیجه تاخیر کل افزایش می یابد.

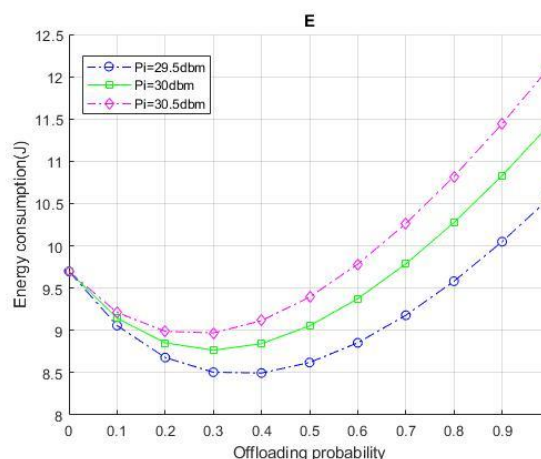
نتایج نشان می دهد که واگذاری اطلاعات همیشه نمی تواند به کاهش انرژی و تاخیر کمک کند و حتی ممکن است باعث افزایش آن نیز بشود. بدین ترتیب واگذاری اطلاعات بدون در نظر گرفتن شرایط کانال بی سیم نتیجه ی مدنظر را به همراه نخواهد داشت.



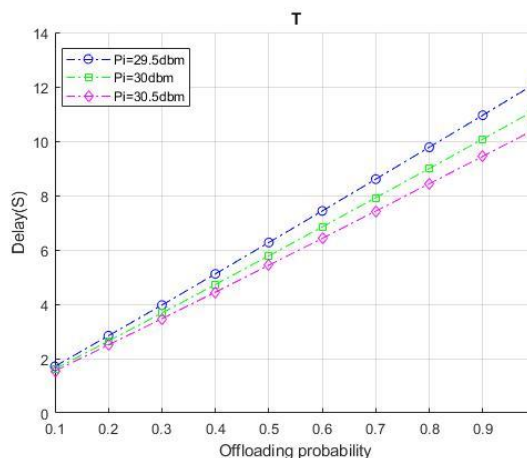
شکل (۷): تاثیر احتمال واگذاری اطلاعات بر متوسط انرژی مصرفی و تاخیر در $n=3.5$

در شکل (۷) ما برای حالت چندکاربر با در نظر گرفتن رخداد خطا و همچنین تداخل، نمودارهای متوسط انرژی مصرفی و تاخیر را بر حسب احتمال واگذاری اطلاعات در $n=3.5$ رسم نموده ایم. ملاحظه می شود که روند کلی مانند حالت تک کاربر می باشد به عبارت دیگر با توجه به شرایط اتخاذ شده با افزایش احتمال واگذاری، انرژی مصرفی کاهش می یابد و این روند تا احتمال واگذاری ۰,۶ ادامه می یابد سپس در احتمالهای واگذاری بالاتر روند افزایشی خواهد شد. همچنین تأخیر سیستم به دلیل افزایش طول صف در احتمال واگذاری بالاتر افزایش خواهد یافت.

منحنی بایکدیگر). دلیل این امر طبق روابط (۱۰) و (۱۱) آن است که احتمال وقوع خطا در ارسال و در نتیجه ارسال های مکرر کاهش می یابد و در نتیجه تاخیر ایجاد شده در توان ارسالی بالاتر کاهش خواهد یافت.



شکل (۵): تاثیر احتمال واگذاری اطلاعات بر انرژی مصرفی در $n=4.5$



شکل (۶): تاثیر احتمال واگذاری اطلاعات بر تاخیر در $n=4.5$

در شکل (۵) و (۶) ما برای حالت تک کاربر با در نظر گرفتن شرایطی جدید برای کانال بی سیم ($n=4.5$)، نمودارهای انرژی مصرفی و مقدار تاخیر را بر حسب احتمال واگذاری اطلاعات در توان های ارسالی متفاوت رسم نموده ایم. در شکل (۵) ملاحظه می شود که اگر توان فرستنده 30.5dbm باشد انرژی مصرفی ابتدا در احتمال های پایین کاهش داشته و در احتمال واگذاری ۰,۳ به کمترین مقدار خود رسیده است و سپس روندی افزایشی داشته است و همچنین اگر توان فرستنده را به 29.5dbm کاهش دهیم با احتمال واگذاری ۰,۴ کمترین انرژی مصرفی بدست می آید و در احتمال های بالاتر روند افزایشی خواهد بود. نتیجه شکل های (۳)

networks with mobile edge computing," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 66, no. 8, pp. 7432-7445, Aug. 2017.

[3] N. Abbas, Y. Zhang, A. Taherkordi, and T. Skeie, "Mobile edge computing: A survey," *IEEE Internet of Things Journal.*, vol. PP, no. 99, pp. 1-1, 2017.

[4] W. Yu, F. Liang, X. He, W. Grant Hatcher, C. Lu, J. Lin, and X. Yang, "A survey on the edge computing for the Internet of Things," *IEEE Access.*, vol. 6, pp. 6900-6919, Nov. 2017.

[5] Y. Mao, C. You, J. Zhang, K. Huang, and K. B. Letaief, "A survey on mobile edge computing: The communication perspective," to appear in *IEEE Commun. Survey Tuts.* 2017.

[6] K. Zhang, Y. Mao, S. Leng, Q. Zhao, I. Li, X. Peng, L. Pan, S. Maharjan, Y. Zhang, "Energy-efficient offloading for mobile edge computing in 5G heterogeneous networks," *IEEE Access.*, vol. 4, pp. 5896-5907, Aug. 2016.

[7] S. Deng, L. Huang, J. Taheri, and A. Y. Zomaya, "Computation offloading for service workflow in mobile cloud computing," *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 26, no. 12, pp. 3317-3329, Dec. 2015.

[8] S. Sardellitti, G. Scutari, and S. Barbarossa, "Joint optimization of radio and computational resources for multicell mobile-edge computing," *IEEE Trans. Signal Inf. Process. Over Netw.*, vol. 1, no. 2, pp. 89-103, Jun. 2015.

[9] X. Guo, L. Liu, Z. Chang, and T. Ristaniemi, "Data offloading and task allocation for cloudlet-assisted ad hoc mobile clouds," *Wireless Netw.*, pp. 1-10, Jun. 2016.

[10] S. Barbarossa, S. Sardellitti, and P. D. Lorenzo, "Communicating while computing: Distributed mobile cloud computing over 5G heterogeneous networks," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 31, no. 6, pp. 45-55, Oct. 2014.

[11] X. Chen, "Decentralized computation offloading game for mobile cloud computing," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems.*, vol. 26, no. 4, pp. 974-983, Apr. 2014.

[12] S. Wang, R. Urgaonkar, M. Zafer, T. He, K. Chan, and K. K. Leung, "Dynamic service migration in mobile edge-clouds," in *Proc. IFIP Netw. Conf.*, pp. 1-9, May 2015.

[13] W. Zhang, Y. Wen, and H.-H. Chen, "Toward transcoding as a service: Energy-efficient offloading policy for green mobile cloud," *IEEE Netw.*, vol. 28, no. 6, pp. 67-73, Nov./Dec. 2014.

[14] Y. Lin, E. Chu, Y. Lai, T. Huang, "Time-and-energy-aware computation offloading in handheld devices to coprocessors and clouds," *IEEE Syst. J.*, vol. 9, no. 2, pp. 393-405, Nov. 2013.

[15] M. Chen, B. Liang, and M. Dong, "Joint offloading decision and resource allocation for multi-user multi-task mobile cloud," in *Proc. IEEE ICC 2016 - Communication QoS, Reliability and Modeling Symposium*, May 2016.

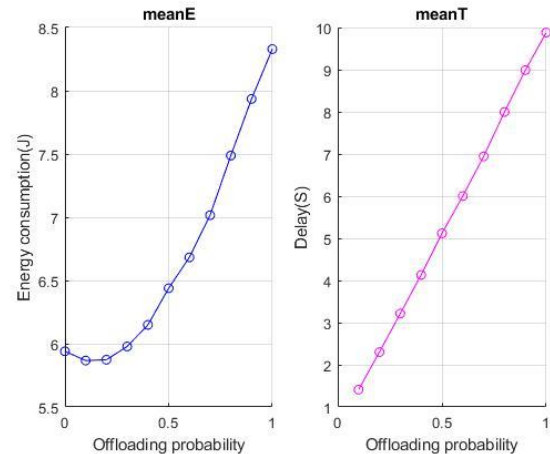
[16] R. Deng, R. Lu, C. Lai, T. H. Luan, and H. Liang, "Optimal Workload Allocation in Fog-Cloud Computing Toward Balanced Delay and Power Consumption," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 6, pp. 1171-1181, 2016.

[17] Y. Wang, X. Lin, and M. Pedram, "A nested two stage game-based optimization framework in mobile cloud computing system," in *Proc. IEEE 7th Int. Symp. Service Oriented Syst. Eng.*, pp. 494-502, Mar. 2013.

[18] A. J. Goldsmith, *Wireless Communications*. Cambridge University Press, 2005.

[19] B. Ngo and H. Lee, "Analysis of a pre-emptive priority M/M/c model with two types of customers and restriction," *Electron. Lett.*, vol. 26, no. 15, pp. 1190-1192, Jul. 1990.

[20] M. Jia, J. Cao, and W. Liang, "Optimal cloudlet placement and user to cloudlet allocation in wireless metropolitan area networks," *IEEE Trans. Cloud Comput.*, vol. 5, no. 4, pp. 725-737, Oct./Dec. 2017.



شکل (۸): تاثیر احتمال واگذاری اطلاعات بر متوسط انرژی مصرفی و تاخیر در $n=4.5$

در شکل (۸) ما برای حالت چندکاربر با در نظر گرفتن $n=4.5$ نمودارهای متوسط انرژی مصرفی و مقدار تاخیر را بر حسب احتمال واگذاری اطلاعات رسم نموده‌ایم. ملاحظه می‌شود که با تغییر شرایط کانال، انرژی مصرفی تا احتمال واگذاری ۰.۱ کاهش می‌یابد و سپس روندی افزایشی به خود می‌گیرد. مشاهده می‌شود که نقطه‌ی بهینه در این شرایط نسبت به نقطه‌ی بهینه در شکل (۷) کاهش یافته است. همچنین تاخیر نیز در زمانی که $n=4.5$ است در هر یک از احتمال‌های واگذاری به نسبت شکل (۷) افزایش نسبی داشته است که دلایل این موضوع در حالت تک کاربره توضیح داده شده است. با توجه به نتایج مشخص است که واگذاری کامل اطلاعات در این شرایط کمکی به بهبود کیفیت نخواهد کرد.

۴ - نتیجه‌گیری

در این مقاله نشان داده شد که در واگذاری وظایف از اشیاء هوشمند به محیط لبه، شرایط کانال بی‌سیم بسیار بر روی کارایی سیستم شامل توان مصرفی و تاخیر تاثیر گذار خواهد بود. اگر شرایط کانال بی‌سیم به طور دقیق لحاظ شود و با فرض ارسال مجدد اطلاعات در صورت رخداد خطا در کانال، بحث واگذاری اطلاعات لزوماً به کاهش انرژی مصرفی و همچنین تاخیر ایجاد شده در سیستم کمک نخواهد کرد. بنابراین لازم است در تصمیم بر این که وظایف محاسباتی در خود شیء اجرا شود یا در محیط لبه، وضعیت کانال بی‌سیم در نظر گرفته شود.

مراجع:

[1] L. Liu, Z. Chang, X. Guo, S. Mao, and T. Ristaniemi, "Multiobjective optimization for computation offloading in fog computing," *IEEE Internet of Things Journal.*, vol. 5, no. 1, pp. 283-294, Feb. 2018.

[2] C. Wang, F. R. Yu, C. Liang, Q. Chen, and L. Tang, "Joint computation offloading and interference management in wireless cellular