DOR :20.1001.1.2538161.1402.8.1.6.8

بهار ۱۴۰۲، دوره ۸، شماره ۱، پیاپی ۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۰

نوع مقاله: پژوهشی

طراحی مسیر چند پهپاد با هدف بهره‌وری انرژی در رایانش لبهٔ چنددسترسی سیار

سیدمجتبی متین‌خواه*
استادیاردانشکدهٔ مهندسی کامپیوتر، دانشگاه یزد، یزد، ایران
پست الکترونیکی: matinkhah@yazd.ac.ir

محمدمهدی هزاره
دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مهندسی کامپیوتر، دانشگاه یزد، یزد، ایران
پست الکترونیکی: m.hazareh@stu.yazd.ac.ir

فاطمه پاک‌زبان
دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مهندسی کامپیوتر، دانشگاه یزد، یزد، ایران
پست الکترونیکی: f.pakzaban@stu.yazd.ac.ir

چکیده

از پهپادها به‌عنوان سرویس‌دهنده لبهٔ سیار جهت پردازش و انتقال داده می‌توان استفاده کرد که در شرایط بحرانی مثل حوادث غیرمترقبه، به ویژه در مناطق دوردست می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. با توسعه رایانش لبه، اینترنت اشیاء با حجم زیادی از داده روبروست که نیازمند بهره‌وری انرژی است. فرضیه مورد تحقیق این مقاله این است که بهینه‌سازی مسیر طولانی این پهپادها برای جمع‌آوری اطلاعات با استفاده از تکنیک اتصال به چندین پهپاد به‌جای قرار دادن سرویس‌دهنده‌های لبه بر ایستگاه‌های ثابت، می‌تواند منجر به پیدا کردن نقطه بهینه مصرف انرژی شود. در این مقاله، ابتدا مدلی برای استفاده از چند پهپاد به‌عنوان سرویس‌دهنده لبهٔ سیار جهت پردازش داده‌های دستگاه‌های اینترنت اشیاء پیشنهاد می‌کنیم، و سپس رویکردی جدید برای طراحی مسیر اولیهٔ پهپاد با تکنیک مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد چندگانه ارائه می‌دهیم. به این منظور و باتوجه به این نکته که مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد چندگانه راه‌حلی از مرتبه چندجمله‌ای ندارد، مسیر حرکت پهپاد را با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل می‌کنیم. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که افزایش تعداد پهپادها به‌طور قابل توجهی کارایی انرژی را فراتر از یک نقطه مشخص بهبود نمی‌بخشد. به‌طور خاص، مسیر بهینه برای دو پهپاد پس از ۱۵۰ تکرار الگوریتم ژنتیک به دست می‌آید، در حالی که پنج پهپاد می‌توانند تنها پس از ۵۰ تکرار به همان نتیجه دست پیدا کنند. فراتر از این نقطه، افزایش تعداد پهپادها منجر به بهبود قابل توجهی در بهره‌وری انرژی نشد که این همان آستانه مطلوب است. بنابراین، این مطالعه نتیجه می‌گیرد که تنها با استفاده از پنج پهپاد می‌توان به ۶۰ دستگاه اینترنت اشیاء به‌طور موثر خدمت رسانی کرد و در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد.

* نویسندهٔ مسئول

این تحقیق روش‌های کارآمدی را برای تسهیل تحقیقات بیشتر در زمینه بهره‌وری انرژی در شبکه‌های ارتباطی به کمک پهپاد ارائه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: اینترنت اشیاء، بهره‌وری انرژی. پهپاد، جمع‌آوری داده، رایانش لبهٔ سیار.

۱. مقدمه

امروزه، بهره‌وری انرژی از مهم‌ترین مسائلی است که مورد مطالعه و بررسی دانشمندان و محققان حوزه‌های علمی مختلف قرار گرفته است. بهره‌وری انرژی، استفاده از انرژی کمتر برای انجام یک کار مشخص و از ساده‌ترین راه‌ها برای کاهش اتلاف و صرفه‌جویی انرژی است [۱]. پردازش داده در دستگاه‌های اینترنت اشیاء به دلیل محدود بودن منابع انرژی و محدودیت باتری نمی‌تواند به‌طور کامل صورت گیرد، بنابراین داده‌ها جهت پردازش به لبهٔ سیار فرستاده می‌شوند[۲]. رایانش لبه‌ای سیار یک فناوری مهم تلقی می‌شود که می‌تواند به هزاران گره اینترنت اشیاء خدمات رایانشی ارائه دهد. این رایانش نوعی الگوی رایانشی جدید است که در لبهٔ شبکه استقرار پیدا کرده و خدمات ابری از طریق تلفن همراه با تأخیر کم و سرعت بالا فراهم می‌کند[۳].

مفهوم رایانش لبه‌ای سیار و رایانش لبه با دسترسی چندگانه به هم نزدیک است. رایانش لبه با دسترسی چندگانه، مفهومی فراگیرتر است، اما همان اصول را در بر می‌گیرد. در این نوع رایانش، بخش بزرگی از بار رایانشی توسط سرویس‌دهنده‌های موجود در ایستگاه‌های ثابت مدیریت می‌شود و بدین ترتیب بخشی از بار رایانشی فشرده برای پردازش به مراکز پردازشی ابری ارسال می‌شود [٤]. رایانش لبهٔ سیار برای پردازش داده‌های دستگاه‌های اینترنت اشیاء می‌تواند مکمل خوبی در کنار رایانش ابری باشد. مرکز لبهٔ سیار نوعی مرکز داده به شکل محلی است که خدمات ابری از جمله رایانش، ذخیره‌سازی و تحلیل منابع داده‌های دریافت شده را فراهم می‌کند و همانند یک مرکز متمرکز داده از منبع تغذیه، سیستم‌های خنک‌کننده، اتصالات و قابلیت‌های امنیتی در مقیاسی کوچک‌تر استفاده می‌کند [٥]. هدف از ایجاد رایانش لبهٔ سیار در شبکه‌های ارتباطی ایجاد ارتباط نزدیک با منابع داده و کاربران نهایی و نیز پدید آوردن یک چارچوب توزیعی در برابر چارچوب متمرکز پیشین است تا زمان پردازش داده‌های دستگاه‌های اینترنت اشیاء و پاسخگویی به فرایندهای آن‌ها تسریع یابد. از مهم‌ترین مشکلات رایانش لبهٔ سیار می‌توان به این حقیقت اشاره کرد که در این نوع رایانش مشکلاتی عمده نظیر محدود بودن منابع پردازشی و ظرفیت‌های ارتباطی وجود دارد [٦].

پهپاد در نقش یک ابزار در حوزه‌های مختلفی چون رایانش لبهٔ سیار، ارتباطات، حمل‌ونقل، عرصه‌های نظامی و غیره کاربردهای زیادی دارد و توانسته است برای هرنوع مشکلی، راه‌حلی ارائه دهد [۷]. عملکرد پهپادها به‌سرعت در حال بهبود است و همین امر منجر به آغاز تحقیقات گسترده برای ادغام پهپادها در ساختارهای پیشرفته شبکه‌های نسل پنجم [۸] و پس از آن شده است [۹]. در حوزهٔ رایانش لبهٔ سیار نیز برای افزایش انعطاف‌پذیری در ارائه خدمات به پهپادها روی آورده شده است [۱۰]. براساس آمارهای ادارهٔ هوانوردی فدرال تا سال ۲۰۲۲ تعداد پهپادهای فعال و درحال پرواز به ۲,۳ میلیون واحد خواهد رسید که این رقم رشد چشمگیر کاربرد و استفاده از پهپادها در عرصه‌های مختلف زندگی را نشان می‌دهد [۱۱].

با توجه به مطالبی که در بالا ذکر شد، بهره‌وری انرژی می‌تواند نقشی بسزا در پایداری شبکه و صرفه‌جویی انرژی داشته باشد. پیشرفت فناوری و افزایش تعداد دستگاه‌های هوشمند اینترنت اشیاء در بطن جامعه و صنعت، از سویی زندگی را سهولت بخشیده است و از سویی دیگر، نیازهای جدیدی در حوزه‌های مدیریت ایجاد کرده است. نه تنها حجم بالای داده‌های انتقالی این دستگاه نیازمند مدیریت است که برای مشکلات مربوط به عمر کوتاه شارژدهی و

زمان بالای شارژ مجدد باتری‌ها نیز باید چاره‌ای اندیشیده شود [۱۲].

از دیگر مشکلاتی که بر سر راه فناوری اینترنت اشیاء وجود دارد این است که مسافت میان این دستگاه‌ها تا لبهٔ سیار برای ارسال داده و نیز دریافت داده‌های پردازش‌شده از آن و ارسال مجددشان به دستگاه‌ها از عمر باتری می‌کاهد و باعث از دست رفتن مکرر انرژی می‌شود[۱۳]. استفاده از پهپاد به‌عنوان دستگاه لبهٔ سیار می‌تواند این مسئله را رفع کند. پهپادها این توانایی را دارند که به‌ویژه در هنگام بروز حوادث غیرمترقبه برای بارگیری سرویس‌دهنده‌ها و ارائهٔ خدمات به صورت مستقیم با دستگاه‌های اینترنت اشیاء ارتباط برقرار کنند و داده‌های آن‌ها را مورد پردازش قرار دهند. همچنین، پهپادها می‌توانند به سادگی داده‌های نسبتاً حجیم را دریافت کنند و با سهولت به ایستگاه ثابت در لبهٔ سیار انتقال دهند [۱۴]. به‌منظور بهره‌وری انرژی و افزایش پایداری حرکت پهپادها، مسیریابی حرکت آن‌ها برای جمع‌آوری داده از دستگاه‌های اینترنت اشیاء به کمک الگوریتم‌های مسیریابی انجام می‌گیرد. بنابراین، با علم به آن که پهپادها برای جمع‌آوری داده، پردازش و ارسال نتایج به دستگاه‌های اینترنت اشیاء برطبق یک مسیر از پیش‌طراحی‌شده پرواز می‌کنند، لازم است تا به ازای هر چرخهٔ جمع‌آوری اطلاعات بهره‌وری انرژی پهپاد باید بهینه شود که این خود یک چالش محسوب می‌شود [۱۵]. انعطاف‌پذیری استقرار پهپاد عاملی امیدبخش برای خدمات‌دهی به گره‌های زمینی مختلف است. به‌عنوان مثال، هنگام آسیب‌دیدگی ایستگاه‌های زمینی می‌توان برای ارائهٔ پوشش مورد نیاز از پهپادها استفاده نمود [۱۶]. از دیگر ویژگی‌های مهم پهپادها این است که می‌توان از طریق رابط‌های بی‌سیم و تجهیزات ناوبری از آن‌ها برای کمک به شبکه‌های زمینی استفاده کرد و عملکرد گره‌های زمینی را بهبود بخشید. به‌عنوان مثال، پهپادها قادرند بسته‌های داده را میان خوشه‌های زمینی ایزوله- متشکل از گره‌های زمینی (مانند حسگرها، لپ‌تاپ‌ها، تلفن‌های هوشمند، وسایل نقلیه و غیره)- حمل یا رله کنند [۱۷].

پهپادها ویژگی‌های جالب دیگری هم دارند که آن‌ها را به ویژه برای پیاده‌سازی لبه سیار مناسب‌تر می‌کند؛ به‌طور مثال هنگامی که حوادث غیرمترقبه رخ داد از پهپادها می‌توان به‌عنوان سرویس‌دهنده لبهٔ سیار جهت پردازش و انتقال داده استفاده کرد. در زمانی که اینترنت اشیاء با حجم زیادی از داده روبروست که نیازمند بهره‌وری انرژی در پردازش هست راه‌حل‌ها و ایده‌های گوناگونی مطرح شده است[۱۸]. فرضیه مورد تحقیق این مقاله به این صورت است که آیا می‌توان با بهینه‌سازی مسیر پهپادهایی است که به‌عنوان سرویس‌دهنده لبه شبکه معرفی شده است همزمان مصرف انرژی را نیز بهینه کرد؟ به‌طور خاص اگر مسیر طولانی این پهپادها برای جمع‌آوری اطلاعات بهینه‌سازی شود و به‌جای قرار دادن سرویس‌دهنده‌های لبه بر ایستگاه‌های ثابت، از تکنیک اتصال به چندین پهپاد استفاده شود، آیا به هدف مورد نظرمان نزدیک خواهیم شد؟ به‌منظور افزایش بهره‌وری انرژی، در این مقاله ابتدا مدلی برای استفاده از چند پهپاد به‌عنوان سرویس‌دهنده لبهٔ سیار جهت پردازش داده‌های دستگاه‌های اینترنت اشیاء پیشنهاد می‌کنیم، و سپس رویکردی جدید برای طراحی مسیر اولیهٔ پهپاد با تکنیک مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد چندگانه ارائه می‌دهیم. باتوجه به این نکته که مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد چندگانه راه‌حلی از مرتبه چندجمله‌ای ندارد، مسیر حرکت پهپاد را با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل می‌کنیم. هدف از این مقاله مطالعهٔ بهره‌وری انرژی با استفاده از گروهی از پهپادها برای کاهش انرژی هنگام جمع‌آوری داده از دستگاه‌های اینترنت اشیاء و یافتن کوتاه‌ترین مسیر حرکت پهپاد با حل مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد به کمک الگوریتم ژنتیک است. به کمک روش پیشنهادی تا حد زیادی در انرژی مصرفی دستگاه‌های اینترنت اشیاء صرفه‌جویی می‌شود.

استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک برای مطالعه توصیف شده در این سناریو بسیار مناسب است زیرا شامل بهینه سازی مسیر پهپادهای چندگانه برای جمع‌آوری داده‌ها

از دستگاه‌های اینترنت اشیاء و پردازش آن با استفاده از محاسبات لبه است. الگوریتم‌های ژنتیک نوعی الگوریتم تکاملی هستند که فرآیند انتخاب طبیعی را به منظور یافتن بهترین راه حل برای یک مسئله تقلید می‌کنند. در این حالت می‌توان از الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی مسیر پهپادها با ایجاد جمعیتی از مسیرهای ممکن و انتخاب بهترین آن‌ها بر اساس عملکرد برازش آن‌ها استفاده کرد که بر اساس عواملی مانند مصرف انرژی و مسافت طی شده خواهد بود. به‌طور خاص، مسئله فروشنده دوره‌گرد یک مسئله بهینه سازی شناخته شده است که هدف آن یافتن کوتاه ترین مسیری است که مجموعه‌ای از مکان‌ها را دقیقاً یک بار بازدید می‌کند. مسئله فروشنده دوره‌گرد برای این سناریو مناسب است زیرا مشکل یافتن کوتاه‌ترین مسیری را که چندین پهپاد می‌توانند برای جمع‌آوری داده‌ها از دستگاه‌های اینترنت اشیاء طی کنند، مدل می‌کند. با این حال، مسئله فروشنده دوره‌گرد یک مسئله NP-hard است، به این معنی که حل آن برای تعداد زیادی مکان از نظر محاسباتی گران است. اینجاست که الگوریتم‌های ژنتیک می‌توانند به‌ویژه مفید باشند، زیرا می‌توانند به‌طور موثر در فضای وسیعی از راه‌حل‌های ممکن جستجو کنند تا تقریب خوبی از مسیر بهینه پیدا کنند. به‌طور کلی، استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک در ارتباط با مسئله فروشنده دوره‌گرد یک رویکرد قوی برای حل مشکل بهینه‌سازی مسیر پهپادهای متعدد برای جمع‌آوری داده‌ها از دستگاه‌های اینترنت اشیاء و پردازش آن با استفاده از محاسبات لبه و در عین حال به حداقل رساندن مصرف انرژی است.

این مطالعه نشان خواهد داد که هنگام استفاده از پهپادهای چندگانه برای جمع‌آوری داده‌ها از دستگاه‌های اینترنت اشیاء، محدودیتی برای تعداد پهپادهایی وجود دارد که می‌توانند برای بهبود بهره‌وری انرژی مورد استفاده قرار گیرند. نتایج شبیه‌سازی نشان خواهد داد که پس از تعداد معینی از تکرار الگوریتم ژنتیک، با افزودن پهپادهای بیشتر، بهبود قابل توجهی در بهره وری انرژی مشاهده نمی‌شود. به‌طور خاص، برای دو پهپاد، مسیر بهینه پس از ۱۵۰ تکرار الگوریتم به دست آمد، در حالی که برای پنج پهپاد، تنها پس از ۵۰ تکرار، همان نتیجه به دست آمد. با این حال، فراتر از این نقطه، افزودن پهپادهای بیشتر منجر به بهبود بیشتر در بهره‌وری انرژی نشد. در نتیجه، این مطالعه به این نتیجه می‌رسد که استفاده از تنها پنج پهپاد راهی کارآمد برای خدمت رسانی به ۶۰ دستگاه اینترنت اشیاء و صرفه جویی در انرژی است. این تحقیق روش جدیدی را برای بهبود بهره‌وری انرژی در شبکه‌های ارتباطی به کمک پهپاد ارائه می‌کند که می‌تواند برای مطالعات آینده در این زمینه مفید باشد.

در ادامه، در فصل دوم ادبیات تحقیق و پیش‌زمینه لازم برای مسئلهٔ مورد بحث در این مقاله ارائه خواهد شد. در فصل سوم روش پیشنهادی بر اساس طراحی مسیر اولیهٔ پهپاد با تکنیک مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد چندگانه ارائه می‌شود. و نهایتاً در فصل چهارم نتایج شبیه‌سازی و بحث و نتیجه‌گیری خواهد آمد.

۲. ادبیات تحقیق و کارهای مرتبط

استفاده از پهپاد به‌عنوان کارسازهای لبه سیار برای پردازش و انتقال داده در اینترنت اشیاء به‌ویژه می‌تواند در موقعیت‌های بحرانی مانند رویدادهای غیرمنتظره، در مناطق دور افتاده مفید باشد. با این حال، بهینه‌سازی مصرف انرژی پهپادهای چندگانه در حین جمع‌آوری داده‌ها از دستگاه‌های اینترنت اشیاء هنوز یک مشکل چالش برانگیز است[۱۹]. اخیراً در این زمینه، چندین مقاله پژوهشی روش‌های مختلفی را برای پرداختن به این موضوع پیشنهاد کرده‌اند. با این حال، هر روش دارای محدودیت‌های خاص خود یا مشکلات جدید مرتبط با آن است. بنابراین، نیاز به رویکردهای نوآورانه برای حل این مشکل وجود دارد.[۲۰]

تانگ و همکاران [۲۱] یک طراحی همزمان در مورد راهبردهای مسیر و تخلیه برای به حداقل رساندن مصرف

انرژی برای محاسبات محلی و لبه، و همچنین انتقال داده در اینترنت اشیای صنعتی ارائه کرده‌اند. در این مقاله به مشکل لرزش پهپادها که باعث عدم قطعیت‌های توزیع شده گاوسی مرتبط با ایستگاه‌های بین راه پرواز می‌شود، پرداخته و با استفاده از نابرابری نوع برنشتاین، محدودیت‌ها را به شکل‌های قطعی دوباره تعریف کرده‌است. تفاوت‌های مقاله تانگ و همکاران و مقاله ما عبارتند از: اولا، مقاله ما استفاده از پهپادهای چندگانه به‌عنوان کارسازهای لبه سیار برای پردازش و انتقال داده را پیشنهاد می‌کند، که به ویژه در مناطق دورافتاده در طول رویدادهای غیرمنتظره مفید است. این ایده در مقاله تانگ و همکاران وجود ندارد، که تنها استفاده از یک پهپاد را به‌عنوان یک کارساز لبه در نظر می‌گیرد. ثانیا، مقاله ما رویکرد جدیدی را برای طراحی مسیر اولیه پهپاد با حل مسئله فروشنده دوره‌گرد با کمک الگوریتم ژنتیک پیشنهاد می‌کند که هدف آن کاهش مصرف انرژی هنگام جمع‌آوری داده‌ها از دستگاه‌های اینترنت اشیاء است. در مقابل، مقاله تانگ و همکاران [۲۱] بر روی راهبردهای مسیر و تخلیه برای به حداقل رساندن مصرف انرژی به دلیل محاسبات محلی و لبه و همچنین انتقال داده تمرکز دارد، در حالی که مسئله عملی لرزش پهپاد را در نظر می‌گیرد ولی در نهایت، مقاله ما روش پیشنهادی را با استفاده از شبیه‌سازی‌های انجام‌شده برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر توسط چندین پهپاد به منظور بهره‌وری انرژی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در مسئله فروشنده دوره‌گرد با استفاده از برنامه متلب ارزیابی می‌کند که تعداد بهینه پهپادهای مورد نیاز را می‌توان برای سرویس دهی به تعداد معینی از دستگاه‌های اینترنت اشیاء در مدت زمان کوتاهی تعیین کرد. که مقاله تانگ و همکاران چنین روشی را ارائه نمی‌دهد، اگرچه نشان می‌دهد که پیشنهاد آن‌ها به‌طور موثر مصرف انرژی را کاهش می‌دهد.

لی و همکاران [۲۲] بر مسئله زمان‌بندی کارآمد انرژی برای پهپادهای چندگانه‌ای که به‌عنوان کارسازهای لبه سیار عمل می‌کنند، تمرکز دارند. هدف، به حداکثر رساندن بهره‌وری انرژی در درازمدت همه پهپادها با در نظر گرفتن باتری‌های محدود و ظرفیت ذخیره سازی آن‌ها است. این مقاله یک رویکرد بهینه‌سازی مشترک را ارائه می‌کند که برنامه‌ریزی مسیر، تجدید انرژی و جایابی کاربردها را در نظر می‌گیرد. لی و همکاران یک رویکرد جدید یادگیری تقویتی مبتنی بر یادگیرنده (TLRL)[1] را برای حل مسئله و ارزیابی عملکرد آن از طریق شبیه‌سازی پیشنهاد می‌کنند. در حالی که لی و همکاران راه‌کارهای مفیدی را در مورد توسعه راه حل‌های کارآمد انرژی برای سیستم‌های محاسباتی لبه سیار با کمک پهپاد ارائه می‌دهند با این حال، مقاله ما از نظر دامنه و اهداف متفاوت است. مقاله ما به مسئله کارایی انرژی در جمع‌آوری داده‌ها از دستگاه‌های اینترنت اشیاء با استفاده از پهپادهای چندگانه می‌پردازد، در حالی که مقاله لی و همکاران [۲۲] به مسئله بهینه‌سازی بهره‌وری انرژی پهپادهایی می‌پردازد که به‌عنوان کارسازهای لبه سیار عمل می‌کنند. همچنین روش پیشنهادی ما از الگوریتم ژنتیک برای حل مسیر پهپادها استفاده می‌کند و نشان می‌دهد که این روش می‌تواند تا حد زیادی به صرفه‌جویی در مصرف انرژی دستگاه‌های اینترنت اشیاء کمک کند.

مقاله زُئو و همکاران [۲۳] مجددا به حوزه محاسبات لبه سیار به کمک پهپاد مرتبط است. آن‌ها روش جدیدی را برای بهینه‌سازی مشترک تقسیم کار، طول شکاف زمانی و مسیر پهپاد برای به حداقل رساندن مصرف انرژی در دو سناریو خاص پیشنهاد می‌کنند. برای مقابله با عدم تحدب مسئله، آن‌ها از تکنیک‌های تقریب محدب متوالی (SCA)[2] استفاده می‌کنند. علاوه بر این، آن‌ها یک طرح اولیه سازی مسیری خاص را با ترکیب با مسئله برداشت و تحویل (PDP)[3] پیشنهاد می‌کنند، که تأثیر مهمی بر نتیجه آزمایش دارد. در حالی که این مقاله به جنبه‌های مهم محاسبات لبه سیار با کمک پهپاد نیز می‌پردازد، سهم مقاله ما در پیشنهاد روشی جدید برای بهینه‌سازی مسیر پهپادهای چندگانه

1- Triple Learner-based Reinforcement Learning
2- Successive Convex Approximation
3- Pickup-and-Delivery Problem

برای بهره‌وری انرژی اســت که می‌تواند عاملی اساســی در موقعیت‌های بحرانی ماننــد رویدادهای غیرمنتظره در مناطق راه دور باشــد. علاوه بر ایــن، مقاله ما از الگوریتم ژنتیک برای حل مســئله بهینه‌سازی اســتفاده می‌کند، که رویکردی متفاوت از تکنیک SCA مورد اســتفاده در زُئو و همکاران است.

مقالــه امرالله و همکاران [۲٤] به بررســی اســتفاده از پهپاد برای خدمات ارتباط بی‌سیم اضطراری در یک منطقه پــس از فاجعه می‌پــردازد. هدف بهینه‌ســازی، به حداکثر رساندن تعداد بازدیدکنندگان زمینی در طول مسیر پرواز ســه بعدی پهپاد است. الگوریتم پیشــنهادی، یک الگوریتم باندیت چند بــازو دوگانه[4]، انرژی محــدود موجود را هم برای کاربــران پهپاد و هم برای کاربــران زمینی در نظر می‌گیرد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم‌های این مقاله می‌تواند مســئله بهینه‌سازی را حل کرده و توان عملیاتی قابل دستیابی را تحت این محدودیت‌ها به حداکثر برســاند. با این حــال، مقاله ما اســتفاده از پهپاد چندگانه به‌عنوان کارســازهای لبه ســیار برای پــردازش و انتقال داده را بررسی می‌کند که می‌تواند در موقعیت‌های بحرانی مانند رویدادهای غیرمنتظره، به ویژه در مناطق دورافتاده اســتفاده شود. از سوی دیگر، مقاله امرالله و همکاران [۲٤] بر روی بهینه‌ســازی مسیر پرواز ســه بعدی پهپاد برای خدمات ارتباطی بی‌ســیم اضطراری در یک منطقه پس از فاجعه متمرکز است. بنابراین، مقاله ما دامنه وسیع‌تری دارد و طیف وســیع‌تری از کاربردها را پوشش می‌دهد. علاوه بر ایــن، مقاله ما بر اهمیت بهره‌وری انرژی در پردازش و انتقال حجم زیادی از داده‌ها از دستگاه‌های اینترنت اشیاء تاکید می‌کند. ما مدلی برای اســتفاده از پهپادهای چندگانه به‌عنوان کارســازهای لبه ســیار برای پردازش داده‌های دســتگاه‌های اینترنــت اشــیاء و ارائه یــک رویکرد جدید برای طراحی مســیر اولیه پهپاد با تکنیک مسئله فروشنده چندگانه ارائه می‌کنیم. در مقابــل، مقاله امرالله و همکاران [۲٤] فقط به انرژی محدود در دســترس هم برای کاربران پهپاد و هم برای کاربران زمینی اشاره می‌کند، اما راه حل جامعی برای پرداختن به کارایی انرژی مانند مقاله ما ارائه نمی‌دهد. علاوه بر این، مقاله ما از یک الگوریتم ژنتیک برای حل مســئله فروشــنده دوره‌گرد برای بهینه‌سازی مسیر پهپادهای چندگانه اســتفاده می‌کنــد. الگوریتم ژنتیک یک تکنیک بهینه‌ســازی پرکاربرد است که به ارائه راه حل‌های کارآمد معروف اســت. این در حالی اســت که مقاله امرالله و همکاران [۲٤] از یــک الگوریتم باندیت چند بازو دوگانه استفاده می‌کند، که یک الگوریتم کمتر مورد استفاده برای بهینه‌سازی مسیرهای پهپاد است.

مقاله ژو و همکاران [۲۵] استفاده از پهپاد را برای ارائه خدمات ارتباطی بی‌ســیم برای دستگاه‌های اینترنت اشیاء از راه دور بررســی می‌کند. ادغام دسترسی چندگانه غیر متعامد (NOMA)[5] به شبکه‌های به کمک پهپاد به‌عنوان راهی برای فعال کردن دسترسی گسترده دستگاه اینترنت اشیاء مورد بررســی قرار گرفته است. هدف به حداکثر رساندن بازده انرژی پهپاد با بهینه‌سازی مشترک زمان‌بندی کاربر غیرمتعامد، مسیر پهپاد و تخصیص توان است. این مسئله به دلیل جفت شــدن بین متغیرها چالش برانگیز است، که آن را به یک مســئله بهینه‌سازی عدد صحیح مختلط و غیر محدب تبدیل می‌کند. برای حل این مســئله، ژو و همکاران یک الگوریتم تکراری دو حلقه را بر اســاس روش دینکلباخ و تکنیک‌های تقریب محدب متوالی (SCA) پیشنهاد می‌کنند. نتایج شبیه‌سازی نشــان می‌دهد که دسترسی غیرمتعامد از دسترسی متعامد هم در بازده طیفی و هم در بهره‌وری انــرژی بهتــر عمل می‌کنــد، و طرح پیشــنهادی مبتنی بر دسترســی غیرمتعامد مبتنی بر بهــره‌وری انرژی تقریبا ســه برابر بیشــتر از طرح‌های دیگــر در مصرف انرژی کارآمدتر است. با این حال، یکی از برتری‌های بالقوه مقاله ما این است که رویکرد جدیدی را برای برنامه‌ریزی مسیر پیشنهاد می‌کند که از الگوریتم‌های ژنتیک برای حل مسئله چند فروشنده دوره‌گرد استفاده می‌کند، که می‌تواند از نظر محاســباتی بهینه شــود. این رویکرد ممکن است طراحی

4- dual-cost-aware multi-armed bandit

5- Non-Orthogonal Multiple Access

مسیر کارآمدتر و موثرتری را برای پهپادهای چندگانه امکان‌پذیر کند که منجر به بهره‌وری بهتر انرژی و صرفه جویی در هزینه شود. علاوه بر این، مقاله ما کارایی انرژی پهپادها در شبکه‌های مخابراتی را در سه بخش تجزیه و تحلیل می‌کند: بهره‌وری انرژی شبکه داخلی، بهره‌وری انرژی ارتباطی دستگاه اینترنت اشیاء، و کارایی انرژی در مسیریابی پهپادها برای دریافت داده‌ها. این تجزیه و تحلیل جامع می‌تواند بینش‌های ارزشمندی در مورد عوامل مختلف مؤثر بر بهره‌وری انرژی در برنامه‌های اینترنت اشیاء مجهز به پهپاد ارائه دهد.

الجُبیرین [۲۶] استفاده از پهپادها را به‌عنوان «کارسازهای پرنده» برای ارائه منابع محاسباتی و ارتباطی به دستگاه‌های کم مصرف در منطقه‌ای که یک سیستم ابری مرکزی در دسترس نیست، پیشنهاد می‌کنند. نویسندگان مسیر، محاسبات و منابع ارتباطی پهپادها را برای بهبود بهره‌وری انرژی در حالی که ظرفیت محدود پهپادها را در نظر می‌گیرند، بهینه می‌کنند. آن‌ها از شبیه‌سازی استفاده می‌کنند تا نشان دهند که رویکرد آن‌ها در مقایسه با سایر طرح‌ها موثر است. از نظر تمرکز، مقاله ما رویکردی برای استفاده از پهپادهای چندگانه به‌عنوان کارسازهای لبه سیار برای بهینه‌سازی برنامه‌ریزی مسیر و کاهش مصرف انرژی در جمع‌آوری داده‌ها از دستگاه‌های اینترنت اشیاء پیشنهاد می‌کند. مقاله الجُبیرین [۲۶] استفاده از پهپادها را به‌عنوان کارسازهای لبه سیار پرنده برای ارائه منابع محاسباتی و ارتباطی به گره‌های حسگر کم توان و بهینه‌سازی مسیر، محاسبات و منابع ارتباطی پیشنهاد می‌کند. از نظر روش شناسی، مقاله ما از یک الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله فروشنده دوره‌گرد برای بهینه‌سازی برنامه‌ریزی مسیر پهپادهای چندگانه استفاده می‌کند. حال آن که مقاله الجُبیرین [۲۶] مسئله بهینه‌سازی را به یک سری از مسائل فرعی جدا می‌کند و به‌طور تکراری آن‌ها را برای بهینه‌سازی مسیر، محاسبات و منابع ارتباطی حل می‌کند.

مقاله چین و همکاران [۲۷] استفاده از پهپادها و ایستگاه‌های بُن‌سازهٔ ارتفاع[6] را برای ایجاد یک پوشش شبکه یکپارچه برای دستگاه‌های اینترنت اشیاء از راه دور در نسل ششم بیسیم پیشنهاد می‌کند. با این حال، به دلیل عمر باتری محدود پایانه‌های اینترنت اشیاء و ذخیره انرژی محدود پهپادها، کارایی انرژی به یک نگرانی جدید تبدیل می‌شود. برای پرداختن به این موضوع، نویسندگان یک مدل شبکه یکپارچه هوا–زمینی دسترسی غیرمتعامد[7] را برای مناطق دوردست پیشنهاد می‌کنند و مسئله به حداکثر رساندن بهره‌وری انرژی سیستم را از طریق برنامه‌ریزی مسیر پهپاد بررسی می‌کنند. رویکرد پیشنهادی راه‌حلی تقریبا بهینه برای مسیر پهپاد و سرعت پرواز ارائه می‌کند که بهره‌وری انرژی را بهینه می‌کند. تفاوت اصلی بین مقاله ما و مقاله چین و همکاران [۲۷] این است که ما بر روی استفاده از پهپادهای چندگانه به‌عنوان کارسازهای لبه سیار برای پردازش و انتقال داده‌ها برای دستیابی به بهره‌وری انرژی در دستگاه‌های اینترنت اشیاء تمرکز کردیم، در حالی که مقاله چین و هکاران [۲۷] استفاده از پهپادها و بُن‌سازهٔ ارتفاع را پیشنهاد می‌کنند. از نظر روش‌شناسی نیز، هر دو مقاله راه‌حل‌هایی را برای بهینه‌سازی مسیر پهپادها برای بهره‌وری انرژی پیشنهاد می‌کنند ولی مقاله ما از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی مسئله فروشنده دوره‌گرد استفاده می‌کند، این در حالی است که چین و همکاران [۲۷] یک مدل شبکه یکپارچه هوا–زمینی غیرمتعامد را پیشنهاد می‌کنند و مسئله طراحی مسیر پهپاد را برای به حداکثر رساندن بهره‌وری انرژی سیستم بررسی می‌کنند.

شو و همکاران [۲۸] روش جدیدی را برای برقراری ارتباط بی‌سیم پهپادها در حین جمع‌آوری داده‌ها در یک شبکه حسگر پیشنهاد می‌کنند. روش پیشنهادی با استفاده از یک مدل ریاضی بر اساس فاصله ارتباطی و کانال دید، مسیر پرواز پهپاد را برای به حداقل رساندن مصرف انرژی بهینه می‌کند. در این روش از ایستگاه‌های پایه مجازی برای

6- Altitude Platform Stations
7- C-NOMA Air-Ground Integrated Network

تعیین مسیر پهپاد استفاده می‌شود و مسیر با استفاده از مسئله فروشنده دوره‌گرد با بهینه‌سازی محدب بهینه می‌شود. این روش به ایستگاه‌های پایه کمتری نیاز دارد و نتایج عددی نشان می‌دهد که در به حداقل رساندن مسافت پرواز و مصرف انرژی به نحو مطلوبی عمل می‌کند. با این وجود مقاله ما استفاده از پهپادهای چندگانه را به‌عنوان کارسازهای لبه سیار برای پردازش داده‌های دستگاه‌های اینترنت اشیاء و بهینه‌سازی مسیرهای آن‌ها برای کاهش مصرف انرژی پیشنهاد می‌کند. روش پیشنهادی ما از یک الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله فروشنده دوره‌گرد و ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی برای تعیین تعداد بهینه پهپادهای مورد نیاز برای بهره‌وری انرژی استفاده می‌کند. مقاله ما همچنین بهره‌وری انرژی توسط پهپادها در شبکه‌های مخابراتی را تجزیه و تحلیل می‌کند و الگوریتم‌ها و روش‌های جدیدی را برای تحقیقات بیشتر پیشنهاد می‌کند. در مقایسه، مقاله شو و همکاران [۲۸] یک طرح بهینه‌سازی مسیر را برای به حداقل رساندن مصرف انرژی نیروی رانش پهپاد[8] در هنگام جمع‌آوری داده‌ها از شبکه‌های حسگر بی‌سیم پیشنهاد می‌کند. نویسندگان از مدل کانال خط دید و فاصله ارتباطی قابل اعتماد برای استخراج یک مدل کمینه‌سازی نظری و استقرار ایستگاه‌های پایه مجازی با الگوریتم جایابی حداقل درجه قبلی[9] استفاده می‌کنند. مسیر آن‌ها با استفاده از مسئله فروشنده دوره‌گرد با تکنیک بهینه‌سازی محدب بهینه شده است، و آن‌ها نشان می‌دهند که طرح آن‌ها به ایستگاه‌های پایه مجازی کمتری نیاز دارد و در به حداقل رساندن فاصله پرواز پهپاد و انرژی رانش در مقایسه با طرح‌های دیگر برتری دارد. در حالی که مقاله شو و همکاران [۲۸] و مقاله ما هر دو به کارایی انرژی در ارتباطات پهپاد می‌پردازند، مقاله ما بر استفاده از پهپادهای چندگانه به‌عنوان کارسازهای لبه سیار برای پردازش داده‌ها از دستگاه‌های اینترنت اشیاء تمرکز دارد، با این وجود مقاله شو و همکاران [۲۸] بر بهینه‌سازی مسیرهای پهپاد برای جمع‌آوری داده‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم تمرکز دارد. علاوه بر این، مقاله ما از یک الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی مسیرها و تعیین تعداد بهینه پهپادها استفاده می‌کند، در حالی که مقاله شو و همکاران [۲۸] از الگوریتم جایابی حداقل درجه قبل[10] برای استقرار ایستگاه‌های پایه مجازی استفاده می‌کند.

رحمان و همکاران [۲۹] یک تکنیک جدید به نام EETO-GA[11] برای بهینه‌سازی مسیر انرژی کارآمد پهپاد–اینترنت اشیاء با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیشنهاد می‌کنند. هدف از این تکنیک بهینه‌سازی برنامه‌ریزی مسیر پهپادها به منظور کارآمدتر کردن سیستم پهپاد–اینترنت اشیاء در مصرف انرژی است. تکنیک پیشنهادی سه هدف را در نظر می‌گیرد: تعداد کل کارهایی که می‌توان تکمیل کرد، به حداقل رساندن انرژی مصرف‌شده، و تعداد دستگاه‌هایی که می‌توان خدمت کرد. این مقاله همچنین از یک روش دودویی رمزگذاری برای رسیدن به راه حل بهینه استفاده کرده است. نویسندگان تکنیک پیشنهادی را از طریق یک مطالعه شبیه‌سازی ارزیابی کرده‌اند. مقاله ما و مقاله رحمان و همکاران [۲۹] شباهت‌هایی دارد، زیرا هر دو مقاله بر استفاده بهینه از انرژی پهپادها در زمینه اینترنت اشیاء تمرکز دارند. با این حال، چندین تفاوت بین این دو مقاله وجود دارد که باعث برتری مقاله ما در جنبه‌های خاص می‌شود. در مرحله اول، مقاله ما یک رویکرد جدید برای حل مسئله فروشنده دوره‌گرد با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیشنهاد می‌کند، که دستاورد منحصر به فردی است که در مقاله رحمان و همکاران [۲۹] وجود ندارد: این روش به طراحی مسیر اولیه پهپادها کمک می‌کند و در نتیجه مصرف انرژی در جمع‌آوری داده‌های دستگاه‌های اینترنت اشیاء را کاهش می‌دهد. در مرحله دوم، مقاله ما کارایی انرژی را در سه جنبه مختلف ارزیابی می‌کند: شبکه داخلی پهپاد، ارتباط دستگاه‌های اینترنت اشیاء با پهپاد، و مسیریابی پهپادها در دریافت داده‌ها. در مقابل، در مقاله رحمان و همکاران [۲۹]

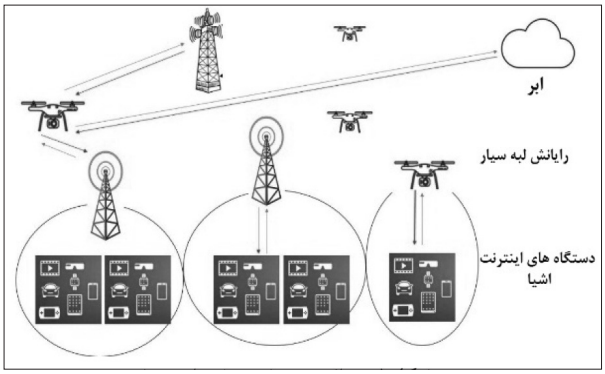
8- Propulsion Energy Consumption
9- Minimum-Degree-Prior Placement
10- Minimum-Degree-Prior Placement Algorithm
11- Energy-Efficient Trajectory Optimization of UAV–IoT using a Genetic Algorithm (GA)

بر برنامه‌ریزی مسیر برای همکاری پهپاد-اینترنت اشیاء با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک متمرکز است. ثالثاً، مقاله ما نشان می‌دهد که افزایش تعداد پهپادها فراتر از یک نقطه خاص، کارایی انرژی را در جمع‌آوری داده‌ها به‌طور قابل توجهی بهبود نمی‌بخشد. این یافته بینش‌های ارزشمندی را برای اجرای عملی پهپادها در شبکه‌های اینترنت اشیاء ارائه می‌کند، که در دیگر مقالات مورد بحث قرار نگرفته است.

به این ترتیب پس از بررسی منابع اخیر صورت گرفته در این بخش به این نتیجه می‌رسیم که کارهای تحقیقاتی مهمی از پهپادها به‌عنوان کارسازهای لبه سیار در زمینه‌های مختلف مانند اینترنت اشیاء صنعتی، خدمات ارتباطی اضطراری و زمان‌بندی کارآمد انرژی استفاده می‌کنند. با این حال، هر مقاله محدودیت‌ها و زمینه‌های بهبود خاص خود را دارد. روش پیشنهادی ما به مشکل بهره‌وری انرژی در جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از پهپادهای چندگانه می‌پردازد و نشان می‌دهد که الگوریتم‌های ژنتیک می‌توانند برای بهینه‌سازی مسیر پهپادها برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی دستگاه‌های اینترنت اشیاء مفید باشند. همچنین، مطالعه ما بر اهمیت بهره‌وری انرژی هنگام پردازش و انتقال حجم زیادی از داده‌ها، به‌ویژه در شرایط بحرانی مانند رویدادهای غیرمنتظره در مناطق دورافتاده تأکید می‌کند. بنابراین با ارائه یک رویکرد جدید برای برنامه‌ریزی مسیر اولیه پهپاد با تکنیک فروشنده دوره‌گرد، مقاله ما به ادبیات موجود در مورد سیستم‌های محاسباتی لبه سیار به کمک پهپاد کمک می‌کند. به‌طور کلی، مطالعه ما انگیزه‌ای برای تحقیقات آینده در این زمینه، به ویژه در زمینه‌های بهینه‌سازی مسیر چند پهپاد، الگوریتم‌های پیشرفته برای برنامه‌ریزی کارآمد انرژی، و ارزیابی زمان واقعی این سیستم‌ها در سناریوهای عملی فراهم می‌کند.

۳. مدل‌سازی در رایانش لبهٔ سیار

در رایانش لبهٔ سیار مسئلهٔ مدل‌سازی پردازش‌داده



شکل۱: عملکرد پهپاد در لبه ابر سیار

اهمیتی ویژه دارد. بازده انرژی مسیریابی پهپاد به انرژی مورد استفاده پهپادها هنگام جمع‌آوری داده‌ها از دستگاه‌های اینترنت اشیاء یا حسگرهای توزیع شده در شبکه‌های حسگر بی‌سیم اشاره دارد. از آنجایی که پهپادها با باتری کار می‌کنند، بهینه سازی مصرف انرژی آن‌ها برای اطمینان از این‌که می‌توانند منطقه وسیعی را پوشش دهند و قبل از نیاز به شارژ مجدد تا حد امکان داده جمع‌آوری کنند، بسیار مهم است.

با جمع‌آوری داده‌ها از حسگرهای توزیع شده در شبکه، پهپادها می‌توانند با به حداقل رساندن تعداد سفرهای مورد نیاز برای جمع‌آوری داده‌ها از مکان‌های مختلف، مصرف انرژی را بهینه کنند. این رویکرد مسافت طی شده توسط پهپادها را کاهش می‌دهد که به نوبه خود به صرفه جویی در انرژی و افزایش زمان پرواز آن‌ها کمک می‌کند.

علاوه بر این، پهپادها می‌توانند به‌عنوان جمع کننده برای پردازش ترافیک اینترنت اشیاء و کاهش تراکم شبکه عمل کنند. این بدان معنی است که پهپادها به جای ارسال مقادیر زیادی از داده‌ها به‌طور مستقیم به ابر یا مرکز داده، می‌توانند داده‌ها را به صورت محلی پردازش کنند و فقط اطلاعات مرتبط یا خلاصه شده را به ابر ارسال کنند. این رویکرد میزان داده‌هایی را که باید از طریق شبکه منتقل شود کاهش می‌دهد که به نوبه خود ازدحام شبکه را کاهش می‌دهد و کارایی کلی شبکه را بهبود می‌بخشد.

در شکل ۱ مدل استفاده شده در این مقاله ترسیم شده است. مدیر شبکه باید به‌درستی مدلی را برای پردازش

داده‌های دستگاه‌های اینترنت اشیاء و سرویس‌دهنده‌های مربوطه و نیز مدیریت تداخل به‌صورت مشترک در نظر بگیرد. در رایانش لبهٔ ابر در شبکه‌های سیار، امکان استفاده از مدل‌های مرسوم رایانش ابری وجود ندارد و ماهیت متغیر کانال بی‌سیم نیز مسئلهٔ چالش‌زایی است که می‌تواند در کیفیت ارتباطات اثرگذار باشد. به‌عبارت‌دیگر، در رایانش لبهٔ سیار، وضعیت کانال معیاری مهم برای تصمیم‌گیری در مورد چگونگی میزان و نحوهٔ دریافت داده از بیرون محسوب شود.

دستگاه‌های اینترنت اشیاء، داده‌ها را جمع‌آوری می‌کنند و سپس توسط کارسازهای لبه مشخص شده در شکل ۱ پردازش می‌شوند. برای ارتقای بهره وری انرژی، مدیر شبکه باید بر کل سیستم نظارت و مدیریت کند به گونه ای که اطمینان حاصل شود که پردازش داده‌ها به‌طور موثر در کارسازهای لبه توزیع می‌شود. این شامل در نظر گرفتن عواملی مانند کیفیت ارتباط بین دستگاه‌های اینترنت اشیاء و کارسازهای لبه و همچنین تنظیم مقدار داده‌های ارسال شده از طریق کانال بی‌سیم یا اصلاح گردش کار پردازش برای تطبیق بهتر تغییرات در وضعیت کانال است. با در نظر گرفتن بهره وری انرژی در طول فرآیند پیاده سازی رایانش لبهٔ ابر در شبکه‌های سیار، می‌توانیم آینده پایدارتری برای کاربردهای اینترنت اشیاء ایجاد کنیم.

در برخی اوقات که وضعیت کانال به دلایلی مطلوب نیست، بخشی از پردازش داده در دستگاه و بخشی دیگر در سرویس‌دهنده لبهٔ سیار ابر انجام می‌شود؛ به‌عنوان مثال، ممکن است وضعیت کانال به حدی نامطلوب باشد که پردازش در سرویس‌دهنده لبهٔ سیار ابر به‌صرفه نباشد. به بیان دیگر، پردازش در سرویس‌دهنده لبهٔ سیار ابر اگرچه مصرف انرژی پردازنده گوشی همراه را کاهش می‌دهد، اما کاهش انرژی لازم برای ارسال اطلاعات به سرویس‌دهنده را خنثی می‌سازد. از سوی دیگر، مدیریت تداخل فرکانسی در شبکه‌های بی‌سیم بسیار مهم است؛ زیرا شبکه‌های بی‌سیم سیگنال‌ها را از نوع همه‌پخشی توزیع می‌کنند و همین مسئله باعث ایجاد تداخل و از بین رفتن داده‌ها می‌شود.

بر اساس شکل ۱، یک معماری برای یک مدل سیستمی از محاسبات لبه موبایل را می‌توان به صورت زیر طراحی کرد:

۱- دستگاه‌های اینترنت اشیاء: این دستگاه‌ها وظیفه جمع‌آوری داده‌ها از محیط و انتقال آن به پهپادها را بر عهده دارند. داده‌های جمع‌آوری شده می‌تواند به پارامترهای مختلفی مانند دما، رطوبت، شدت نور و غیره مرتبط باشد.

۲- پهپادها: این هواپیماهای بدون سرنشین در نزدیکی دستگاه‌های اینترنت اشیاء برای جمع‌آوری داده‌ها و پردازش آن‌ها پرواز می‌کنند. برای پردازش کارآمد داده‌ها، پهپادها می‌توانند به منابع محاسباتی مانند FPGA، GPU یا ASIC مجهز شوند. پهپادها از طریق پیوندهای بی سیم مانند Zigbee، Wi-Fi یا بلوتوث با یکدیگر و ایستگاه‌های زمینی ارتباط برقرار می‌کنند.

۳- ایستگاه‌های پایه: این ایستگاه‌ها به‌عنوان لبه موبایل شبکه عمل می‌کنند و مجهز به کارسازهایی برای پردازش داده‌ها هستند. پهپادها داده‌های جمع‌آوری شده از دستگاه‌های اینترنت اشیاء را برای پردازش به ایستگاه‌های پایه انتقال می‌دهند. سپس داده‌های پردازش شده به مرکز داده یا به دستگاه‌های اینترنت اشیاء برمی گردند.

٤- مرکز داده: این مکان مرکزی است که تمام داده‌های جمع‌آوری شده از دستگاه‌های اینترنت اشیاء در آن پردازش و تجزیه و تحلیل می‌شود. مرکز داده می‌تواند در فضای ابری یا درون محل قرار گیرد.

٤- منابع انرژی: پهپادها را می‌توان به‌عنوان منابع انرژی سیار برای شارژ مجموعه‌ای از دستگاه‌های اینترنت اشیاء زمینی استفاده کرد. پهپادها را می‌توان به سیستم‌های انتقال بی‌سیم رزونانس مغناطیسی جفت شده مجهز کرد تا بازده انتقال انرژی بالا را بدون هماهنگی کامل تضمین کند.

۵- شبکه‌های حسگر بی‌سیم: بهره‌وری انرژی

مسیریابی پهپاد در شبکه‌های حسگر بی‌سیم مهم است. جمع‌آوری داده‌ها از حسگرهای توزیع شده در شبکه توسط پهپادها به بهینه سازی مصرف انرژی در شبکه کمک می‌کند.

۶- جمع‌آوری داده‌ها: پهپادها می‌توانند به‌عنوان جمع کننده برای پردازش ترافیک اینترنت اشیاء و کاهش تراکم شبکه عمل کنند. این یک الگوی نسبتاً در حال ظهور است که مکمل ایستگاه‌های ثابت است.

به‌طور خلاصه، مدل سیستم پیشنهادی شامل دستگاه‌های اینترنت اشیاء است که داده‌ها را جمع‌آوری می‌کنند، پهپادهایی که در نزدیکی این دستگاه‌ها برای جمع‌آوری و پردازش داده‌ها پرواز می‌کنند، ایستگاه‌های پایه با کارسازهایی برای پردازش داده، یک مرکز داده برای تجزیه و تحلیل داده‌های متمرکز، و منابع انرژی سیار. مدل سیستم به چالش‌های مدیریت تداخل و بهره‌وری انرژی در محاسبات لبه موبایل می‌پردازد.

۳-۱- تعریف مسئله

فرض کنید گروهی از پهپادها را داریم که برای دریافت داده‌ها دستگاه‌های اینترنت اشیاء به منطقهٔ محدودی که از قبل موقعیت دستگاه‌هایش مشخص شده است، اعزام می‌شوند و جمع‌آوری و دریافت داده به عوامل مختلفی چون حجم داده، اطمینان از ارتباط حسگرهای تعبیه‌شده در دستگاه‌ها در محیط و خط دید بستگی دارد. همچنین، مسیر هر پهپاد براساس الگوریتم‌های مسیریابی تعیین می‌شود و معمولاً پهپاد بر اساس کوتاه‌ترین مسیر به‌صورت سلسله‌مراتبی از گره‌های موجود، داده‌ها را جمع‌آوری و آن‌ها را مورد پردازش قرار می‌دهد.

یک شبکهٔ لبهٔ سیار ابر را فرض می‌کنیم که در آن چند پهپاد به‌عنوان دستگاه لبهٔ سیار برای جمع‌آوری داده از تعداد مشخصی دستگاه اینترنت اشیاء (K) به حرکت در می‌آیند. موقعیت هر دستگاه اینترنت اشیاء را (U_k) در نظر می‌گیریم. هر دستگاه اینترنت اشیاء داده‌های سنجشی با اندازه بیت‌های (S_i) تولید می‌کند و پهپاد به‌طور منظم برای جمع‌آوری داده‌های سنجش‌شده به مدت (T) ثانیه اقدام می‌کنند. فرض می‌کنیم این پهپادها در ارتفاع‌ثابت (H) متر پرواز می‌کنند و حداکثر سرعت آن‌ها را (V_{max}) برحسب متر بر ثانیه نشان می‌دهیم. مکان‌های اولیه پهپاد (q_0) و مکان نهایی پهپاد (q_f) نیز از قبل تعیین شده است.

برای ساده‌سازی زمان (T)، آن را به برش‌های زمانی (M) گسسته می‌کنیم. یعنی، $T = M\delta_t$ که در آن (δ_t) نشان‌دهندهٔ طول برش اصلی است، به‌گونه‌ای که موقعیت پهپاد در هر برش زمانی حتی در حداکثر سرعت، تقریباً بدون تغییر در نظر گرفته می‌شود. مسیر پهپاد q(t) به منظور جمع‌آوری داده توسط مدیر شبکه با استفاده از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر مشخص می‌شود. بنابراین، یک کانال محو بلوک شبه‌ایستا[12] را برای پیوندهای پهپادی-زمینی در نظر می‌گیریم که در آن، کانال با هر بلوک محوشده بدون تغییر باقی می‌ماند و ممکن است روی بلوک‌ها تغییر کند. مدت‌زمان هر بلوک محوکننده بسیار کمتر از δ_t است.

در مدل محوشدگی کلی کانال، ضریب کانال بین پهپاد و موقعیت دستگاه اینترنت اشیاء در بلوک محوشدگی (l-th) از برش زمانی m را می‌توان به‌صورت $\rho_k[m.l] = \sqrt{\beta_k[m]}\rho_k[m.l]$ مدل کرد که در آن $\beta_k[m]$ ضریب محوشدگی در مقیاس کوچک، و $\rho_k[m.l]$ تضعیف کانال مقیاس بزرگ است که فقط به فاصلهٔ بین پهپاد و موقعیت دستگاه‌اینترنت اشیاء بستگی دارد. در رابطه زیر، فاصلهٔ $d_k[m]$ بین آن‌ها در برش زمانی (m) نشان داده شده است:

$$d_k[m] = \beta_0 d_k^{-\alpha}[m] = \frac{\beta_0}{(H^2 + ||q[m] - w_k||^2)^{\alpha/2}} \quad (1)$$

باتوجه به این‌که (β_0) افزایش قدرت کانال مرجع است، در d_0=1m و $\alpha \geq 2$ ضریب ازدست‌دادن مسیر است و (w_k) مختصات موقعیت دستگاه و q[m] موقعیت پهپاد در برش زمانی و ارتفاع پهپاد (H_2)بدون ازدست‌دادن کلیت برای هر زمان t برش m به دست می‌آید.

هنگامی‌که موقعیت پهپادها در برش زمانی q[m] و

12- Quasi-Static

سرعت انتقال q_k [m] تعیین می‌شود، پهپادها به منظور جمع‌آوری داده از دستگاه‌های اینترنت اشیاء عازم می‌شود. درصورتی‌که موقعیت دستگاه U_k در حالت جمع‌آوری‌داده برای برقراری ارتباط در برش زمانی m مشخص باشد، آن مقدار به‌دست‌آمده در واحد bps/Hz نشان داده می‌شود و از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید.

$$c_k[m.l] = log_2(1 + \frac{h_k|[m.l]|^2 p_k}{\sigma^2 \Gamma}) \qquad (2)$$

از آنجایی که σ^2 قدرت نوفه است، $\Gamma > 1$ فاصلهٔ نسبت سیگنال به نوفه بین طرح مدوله‌سازی عملی و علامت‌دهی نظری گاوسی است و h_k متغیر ارتفاع پهپاد در یک برش زمانی و P_k قدرت انتقال است.

خط دید از مهم‌ترین پارامترها برای ارتباط پهپاد با دستگاه اینترنت‌اشیاء است. خط دید را می‌توان چنین تعریف کرد: نوعی انتشار و مسیر مستقیم که در آن داده‌ها بدون هیچ‌گونه مانعی میان فرستنده و گیرنده رد و بدل می‌شوند. وجود یک خط دید واضح برای ارتباطات پرسرعت مهم است. احتمال خط دید در ارتباط ارتفاع پایین بین پهپاد و کاربران به محیط اطراف، به زاویه ارتفاع و توزیع کاربران و پهپادها بستگی دارد.

اگر در یک منطقهٔ جغرافیایی که دستگاه‌های اینترنت اشیاء در حال ارتباط با ایستگاه‌های ثابت هستند حادثه‌ای رخ دهد و ارتباط میان آن‌ها قطع شود و یا خط‌دید بین آن‌ها از بین برود، پهپاد با ارتفاع کم می‌تواند به‌عنوان یک سرویس‌دهنده سیار وارد عمل شود و این محو شدن در مقیاس کوچک به دلیل موانعی که باعث انتقال چند مسیری در کانال فرعی می‌شود، رخ دهد. احتمال پیوند خط دید به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$P_{LOS} \frac{1}{1 + u\,exp(-v[\phi - A]')} \qquad (3)$$

در این رابطه u و v پارامترهای محیطی همچون ارتفاع موانع و غیره هستند. زاویه ارتفاع φ بدین شکل تعریف می‌شود:

$$\phi = \frac{180}{\pi} \times arcsin(\frac{h}{d}) \qquad (4)$$

جدول ۱: پارامترهای مدل ریاضی سیستم

ردیف	نام پارامتر	شرح
۱	K	دستگاه (گره) اینترنت اشیاء
۲	U_k	مکان دستگاه اینترنت اشیاء
۳	S_k	تولید داده بر اساس اندازهٔ بیت
۴	T	مدت‌زمان جمع‌آوری دادهٔ تولیدشده
۵	H	ارتفاع پهپاد بر واحد متر (ثابت)
۶	V_{max}	حداکثر سرعت (متر بر ثانیه) پهپاد
۷	q_0	مسیر پرواز قبل از عملیات
۸	q_f	مسیر پرواز بعد از عملیات
۹	$q_{(t)}$	مسیر پرواز پهپاد در زمین
۱۰	M	برش زمانی
۱۱	δ_t	پهنای بازهٔ عنصری
۱۲	$q[m]$	موقعیت پهپاد در بازهٔ زمانی m
۱۳	P_k	قدرت انتقال
۱۴	$P_{k[m]}$	نرخ انتقال طراحی‌شده *(bps/Hz)*
۱۵	L	تعداد بلوک‌های محوشده در هر بازهٔ زمانی
۱۶	$P_{[m,l]}$	ضریب محو شدن در مقیاس کوچک
۱۷	$\beta_{k[m]}$	تضعیف کانال در مقیاس بزرگ
۱۸	$d_{k[m]}$	فاصله بین پهپاد و u_k در فاصله زمانی m
۱۹	β_0	افزایش *(gain)* قدرت کانال مرجع

در اینجا h ارتفاع شناور پهپادها را نشان می‌دهد و d نشان‌دهندهٔ فاصله پهپاد تا کاربران است. در مواقعی، در ارتباطات پهپادها با دستگاه‌های اینترنت اشیاء، کاربر با ازدست‌دادن مسیر بین پهپادها از قانون خط دید و چندین خط دید پیروی می‌کند. این قانون در زیر نمایش داده شده است:

$$P_{NLOS} = 1 - P_{LOS} \qquad (5)$$

بنابراین مجموع ازدست‌دادن مسیر پهپادها به دستگاه‌های اینترنت اشیاء برابر است با:

$$PL(d) = P_{LOS} \times (d)^{-\varepsilon} + P_{NLOS} \times \eta(d)^{-\alpha} \qquad (6)$$

که در آن α نمایانگر شاخص ازدست‌دادن مسیر بین کاربران و اتصال پهپاد است و η یک ضریب تضعیف اضافی به دلیل پیوند NLOS می‌باشد.

۳-۲- پیداکردن مسیر بهینه با الگوریتم ژنتیک در مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد چندگانه

فرآیند مسیریابی بر هر نوع شبکهٔ زمینی از نکات کلیدی طراحی است، چرا که به‌طور قابل‌توجهی بر عملکرد شبکهٔ

پهپاد اثر می‌گذارد. قرارگیری پهپاد عامل مهمی برای بهبود پوشش و عملکرد شبکه اســت. از مهم‌ترین دلایل استفاده از مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد، ویژگی مسیریابی این مسئله است. بیان سادهٔ این مسئله در قالب مسئلهٔ گراف چنین است: اگر یک گراف وزن‌دار بدون جهت داشته باشیم، گره‌ها رأس گراف، مسیرها لبه‌های آن و فاصله یک مسیر وزن لبه‌های گراف خواهد بود. برای بازدید از تمام رئوس، شروع و پایان پیمایش در یک رأس مشــخص انجام می‌پذیرد. این کار یک گراف کامل را شــکل می‌دهد؛ یعنی هر جفت رأس با یک یال به هم متصل می‌شــوند که کمترین هزینه را خواهد داشت. به‌عبارت دیگر، در مســئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد در یک گراف وزن دار، ما مقدار کمینهٔ یک چرخهٔ بهینه یا دور همیلتونی را با استفاده از مجموع وزن یال‌ها و لبه‌ها خواهیم داشت.

مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد از مسائل زمان چندجمله‌ای غیرقطعــی[13] در حوزهٔ تحقیق در عملیات اســت؛ به عبارت ساده‌تر، تعداد جواب‌های احتمالی برای حل آن دارای فضا و بعد زیادی اســت. تعداد جواب‌های احتمالی برای n شهر در مسئله فروشنده دوره‌گرد برابر با ½(n-1)! است؛ یعنی مثلاً اگر ده شهر داشته باشــیم، باید از بین ½(9)! حالت، یا به‌عبارت دقیق‌تر ۴۰۰,۱۸۱ حالت، به‌دنبال جواب بگردیم. دو روش معمول برای حل چنین مسائلی عبارتند از: طراحی الگوریتم‌های دقیق (حل مســائل ســاده)، و الگوریتم‌های تکاملی یا اکتشافی که جواب قطعی مسئله نیستند و صرفاً جواب‌هایی تقریبی به ما خواهند داد. بااین‌حال، می‌توان گفت که الگوریتم‌های تکاملی نوعی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مبتنی بر جمعیت هستند که پتانسیل حل مشکل این مسئله را دارند. ما به منظور بهره‌وری انرژی در جمع‌آوری داده توسط پهپادها و به‌دلیل اســتفاده از چند پهپاد، از چندین فروشنده دوره‌گرد[14] استفاده می‌کنیم و برای حل این مسئله از الگوریتم ژنتیک کمک می‌گیریم و همگام با بررسی ابعاد این موضوع، به تجزیه و تحلیل مدل سیســتم پیشــنهادی می‌پردازیم. لازم به ذکر است فروشندهٔ دوره‌گرد در شکل ساده و اختصاری با نام TSP شناخته می‌شود [۳۰]. مسئله فروشــنده دوره‌گرد چندگانــه (MTSP) یکی از جالب‌ترین مسائل بهینه‌ســازی ترکیبی است زیرا به‌طور گسترده در برنامه‌های زندگــی واقعی از جملــه روباتیک، حمل‌ونقل، شبکه و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مسئلهٔ بهینه‌ســازی مسیر پهپادها با استفاده از مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد چندگانه به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\min_{\{x_m,k\},\{\Gamma_m,G_m\}} \sum_{m=1}^{m} \sum_{l=1}^{|G_m|+1} \frac{||W\pi_m - w\pi_{m,l-1}||}{V_{max}} \quad (۷)$$

$$s.t. \sum_{m=1}^{M} x_{m,k} = 1, \forall k, \quad (۸)$$

$$G_m = \{s_k | x_{m,k} = 1, s_k \in k\}, \forall m, \quad (۹)$$

$$x_{m,k} \in \{0,1\}, \forall m, k, \quad (۱۰)$$

یک رویکرد شهودی این است که مسیر اولیه پهپاد Q_0 را بر اساس مسیر MTSP برای همه پهپادها تنظیم کنیم تا فقط یک‌بار با حداکثر سرعت از تمام دستگاه‌های اینترنت اشیاء بازدید کنند که از ql شروع می‌شود و همچنین با q_F به پایان می‌رسد، به‌طوری‌که کل مسافت طی شده به حداقل برسد.

باتوجه به M فروشنده و موقعیت مکانی K شهر، چندین فروشنده دوره‌گرد برای تعیین ترتیب بازدید بهینه برای هر فروشنده اســت، به‌طوری‌که هر شهر دقیقاً یک‌بار توسط تنها یک فروشــنده بازدید می‌شــود و کل هزینه بازدید از همه شــهرها به حداقل می‌رســد. متغیر ارتباطی IoT-UAV به‌صورت $x_m, k \in \{0,1\}$ تعریف می‌شود. اگر U_m با S_k با هم مرتبط باشند، در نتیجه xm,k = 1 یا برعکسش xm,k=0 می‌شــود. همچنین، متغیر G_m مجموعه‌ای از دســتگاه‌های مرتبط با پهپاد u_m به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$G_m = \{s_k | x_{m,k} = 1, s_k \in k\}, 1 \le m \le M \quad (۱۱)$$

برای حل مسئلهٔ بهینه‌سازی به کمک الگوریتم ژنتیک، در شکل ۲ بدین ترتیب عمل می‌شود: دستگاه‌های اینترنت اشیاء به‌عنوان ژن در نظر گرفته می‌شوند. در قدم اول الگوریتم ژنتیــک، فرآیند انتخاب طبیعی با انتخــاب بهترین‌های یک

13- Non-Deterministic Polynomial-Time(NP-Hard)
14- Multiple traveling sales men

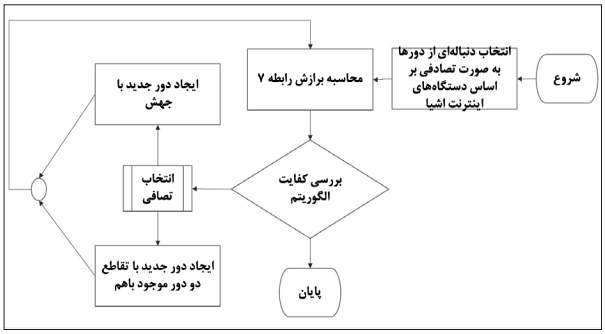
جدول ۲: پارامترهای مدل ریاضی MTSP

شماره	پارامتر	شرح
۱	x_m	متغیر ارتباطی بین پهپاد و دستگاه IoT
۲	k	موقعیت هر شهر (دستگاه IoT)
۳	M	فروشندهٔ دوره‌گرد
۴	Γ_m	جایگشت برچسب‌های IoT در Gm
۵	G_m	مجموعه‌ای از IoTهایی که به پهپادها مرتبط هستند
۶	V_{max}	حداکثر سرعت پهپاد
۷	$W\pi_m$	مختصات دوبعدی از دستگاه IoT
۹	S_k	مقدار داده‌ای که باید جمع‌آوری شود
۱۰	U_m	قابلیت شناور بودن پهپاد

جمعیت شروع می‌شود. سپس، برگزیده‌ها فرزندانی ایجاد می‌کنند که ویژگی‌های والدین خود را به ارث می‌برند و به نسل بعد انتقال می‌دهند. اگر فرزندان برازندگی بیشتری نسبت به والدین خود داشته باشند، شانس بیشتری برای زنده‌ماندن می‌یابند. باتکرار این رویه، در پایان بهترین نسل باقی می‌ماند که مجموعه‌ای از بهترین انتخاب‌ها و راه‌حل تقریبی مسئله هستند. معمولاً برای هر الگوریتم ژنتیک پنج مرحله در نظر گرفته می‌شود که به ترتیب عبارت‌اند از: ۱- جمعیت اولیه (Population)، ۲- تابع برازش (Fitness)، ۳- انتخاب (Selection)، ٤- تقاطع (Cross over)، و ٥- جهش (Mutation). در روش پیشنهادی، ما با استفاده از الگوریتم ژنتیک چند کروموزومی از میان تعداد زیادی دستگاه اینترنت اشیاء با اندازهٔ جمعیت متغیر در یک محیط جغرافیایی، ٦٠ دستگاه را به‌صورت تصادفی انتخاب می‌کنیم و با استفاده از مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد به دریافت داده از آن‌ها می‌پردازیم.، مقادیری برای مسیر بهینه (کوتاه‌ترین مسیر) و تعداد پهپادها به‌دست خواهد آمد. پس از آن، براساس عوامل تأثیرگذار بر الگوریتم ژنتیک (تقاطع و جهش) و با تکرار دفعات، به‌روزرسانی برنامه، و نیز با افزایش یا کاهش دادن تعداد پهپادها یا دیگر متغیرهای تأثیرگذار نتیجهٔ مطلوب حاصل خواهد شد.

۴. شبیه‌سازی

در این شبیه‌سازی تعدادی پهپاد به‌عنوان دستگاه لبهٔ



شکل ۲: روندنما مدل پیشنهادی

سیار شبکه برای خدمت‌رسانی به تعداد زیادی دستگاه اینترنت اشیاء در یک محیط جغرافیایی مشخص مستقر می‌شوند. هدف از پرواز پهپادها جمع‌آوری داده از دستگاه‌های اینترنت اشیاء است و مأموریت ما این است که به‌کمک مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد و شناسایی کوتاه‌ترین مسیر مسیر پهپادها را به‌گونه‌ای بهینه‌سازی کنیم که مجموع انرژی شناور پرواز پهپادها به حداقل برسد. به دلیل استفاده از چندین پهپاد، در این شبیه‌سازی نیز باید از چندین فروشندهٔ دوره‌گرد برای حل مسئله استفاده نمود. ما در فرض خود پهپادها را به‌عنوان فروشندگان دوره‌گرد در نظر می‌گیریم.

در این شبیه‌سازی عوامل مختلفی همچون مکان اولیهٔ قرارگیری پهپادها جهت اعزام به مکان‌های مختلف، تعداد دستگاه‌های اینترنت اشیاء، فاصلهٔ بین دو دستگاه، تعداد پهپادها، زمان پنجره برای هر مکان، مقدار تکرار الگوریتم ژنتیک و کمینه و بیشینه گره‌هایی که توسط پهپاد مورد بازید قرار می‌گیرند، مورد بررسی قرار گرفته می‌شود. با استفاده از این متغیرها و افزایش و کاهش دادن آن‌ها می‌توان به نتایج خوبی دست پیدا کرد و بهترین مسیر یافت‌شدهٔ الگوریتم، مجموع فاصله‌های طی شده توسط پهپادها، تعداد تکرارهای به‌منظور به‌دست‌آوردن راه‌حل بهینه، زمان طی‌شده در به‌دست‌آوردن راه‌حل بهینه و تاریخچه‌ای از فاصله‌های طی شده برای بهترین راه‌حل را به‌دست آورد.

٤-۱- سناریوی اول

هدف ما از این ارزیابی پیداکردن کوتاه‌ترین مسیر

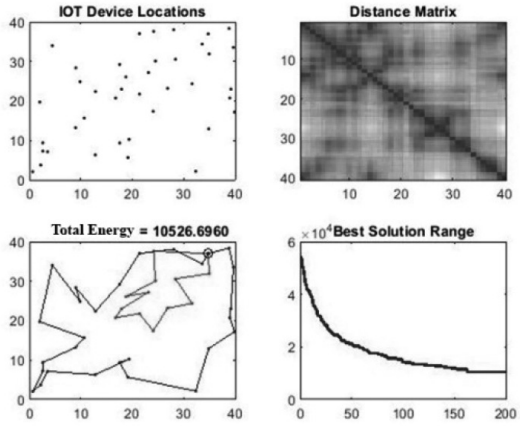
جدول ۳: ارزیابی حرکت توسط دو پهپاد

UAVs	pop_size	min_IoTD	max_IoTD	num_iter	TW
2	60	10	60	200	0

به‌منظور بهره‌وری انرژی و جمع‌آوری داده توسط پهپاد از دستگاه‌های اینترنت اشیاء است. اگر در یک منطقه محدود جغرافیایی تعداد ۶۰ دستگاه اینترنت اشیاء داشته باشیم، با درنظرگرفتن چند پهپاد برای خدمت‌رسانی و با تغییر مقدار کمینه یا بیشینه خدمات‌دهی به دستگاه‌ها و نیز تعداد دفعات تکرار الگوریتم چندین فروشندهٔ دوره‌گرد، می‌توان مسیرهای جدیدی به دست آورد و آن‌ها را ارزیابی نمود. همچنین، با استفاده از متغیرهای پیش‌بینی شده برای انتخاب بهترین مسیر پهپادها در حل مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد و مقدارگذاری متغیرها می‌توان جهت رسم نمودار اقدام کرد و حرکت بهینه پهپادها را مورد ارزیابی قرار داد. ما با انجام چند عملیات شبیه‌سازی به تجزیه و تحلیل این آزمایش‌ها و چگونگی حرکت پهپادها هنگام جمع‌آوری داده و عوامل مختلف تاثیرگذار بر آن پرداخته‌ایم. در هر آزمایش، مقدار جمعیت، کمینه و بیشینه دستگاه‌های خدمات‌رسانی‌شده و پنجرهٔ زمانی را ثابت فرض کرده و تعداد پهپادها و مقدار تکرار عملیات را متغیر در نظر می‌گیریم.

در سناریوی اول، ما مسیر حرکت دو پهپاد را به منظور جمع‌آوری داده از دستگاه‌های اینترنت اشیاء مورد بررسی قرار داده‌ایم. مقادیر متغیرها در این سناریو در جدول ۳ آمده است. در این جدول، مقدار UAVs تعداد پهپادهای خدمات‌رسان، POP_Size اندازهٔ جمعیت اولیه، Min_IoTs کمترین تعداد دستگاه‌های اینترنت اشیاء در یک مسیر، Max_IoTs بیشترین تعداد دستگاه‌های اینترنت اشیاء در یک مسیر و Number_iter تعداد دفعات تکرار الگوریتم است.

موقعیت دستگاه‌های اینترنت اشیاء، فاصلهٔ نهایی حرکت پهپادها و نمودار همگرایی حرکت دو پهپاد برای خدمات‌رسانی به گره‌های اینترنت اشیای این سناریو در شکل ۳ نشان داده شده است. خروجی به‌دست آمده، میزان



شکل ۳: کوتاه‌ترین مسیر پیش‌بینی‌شده بین دو پهپاد

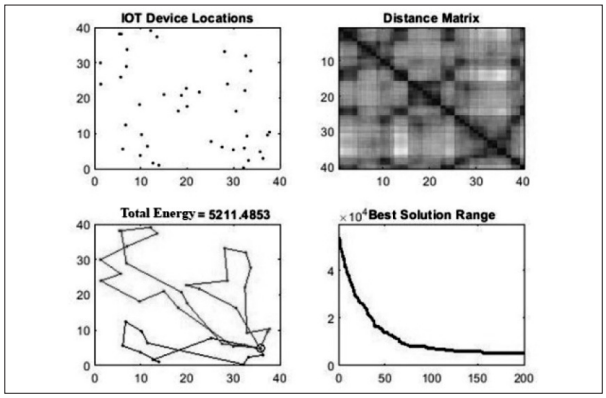
مجموع انرژی مصرف شده را ۵۲۶,۱۰ وات اعلام می‌کند. با تکرار این عملیات و افزایش دورهٔ تکرار، شاهد همگرایی یک در الگوریتم و کاهش فاصلهٔ بین دستگاه‌های اینترنت اشیاء خواهیم بود. با توجه به سیر نزولی نمودار می‌توان گفت که با افزایش تکرار و آزمایش مقادیر بزرگ‌تر از ۲۰۰ می‌توان در نهایت به یک مقدار ثابت دست یافت.

در این سناریو، ما با افزایش تعداد پهپادها و ثابت نگه داشتن دیگر متغیرها آزمایش را به‌انجام رساندیم و مشاهده شد که با افزایش تعداد پهپادها برای جمع‌آوری داده از دستگاه‌های اینترنت اشیاء، مجموع انرژی مصرف‌شده کاهش می‌یابد و هر پهپاد با یافتن کوتاه‌ترین مسیر به جمع‌آوری داده می‌پردازد. برای صرفه‌جویی در انرژی و زمان می‌توان از تعداد بیشتری پهپاد استفاده نمود.

در این شبیه‌سازی، برای دست‌یابی به جواب صحیح دو نکته حائز اهمیت است که باید آن‌ها را به‌یاد داشت. اول آن که، هر پهپاد حرکت خود را از مکان اولیه شروع می‌کند و سفرش را در همین مکان اولیه به پایان می‌رساند، اما در طول مسیر از مجموعه‌ای منحصربه‌فرد از گره‌ها می‌گذرد. به جز گره اول (مکان اولیهٔ پهپاد)، هر گره دقیقاً یک بار توسط پهپاد بازدید می‌شود. و دوم آن که، این الگوریتم از یک نمایش ژنتیکی خاص و به اصطلاح چند کروموزومی برای کدگذاری راه‌حل پیداکردن مسیر استفاده می‌کند. ما در حل مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد باید به شکلی عمل کنیم که پهپاد برای خدمات‌رسانی به تمامی دستگاه‌های اینترنت

جدول ۴: ارزیابی حرکت توسط سه پهپاد

UAVs	pop_size	min_IoTD	max_IoTD	num_iter	TW
3	60	10	80	200	0



شکل۴ : کوتاه‌ترین مسیر پیش‌بینی‌شده بین سه پهپاد

اشـــیاء در کمترین زمان و با صرف حداقل میزان انرژی، داده‌ها را از کوتاه‌ترین مســـیر جمع‌آوری کند و سپس به مکان اولیهٔ خود بازگردد.

٤-۲- سناریوی دوم

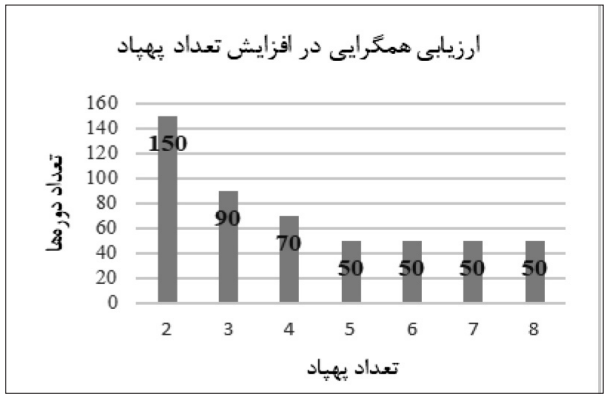
در این ســـناریو، مـــا تعدادی از متغیرهـــای تأثیرگذار در حرکت و مســـیردهی دســـته‌ای از پهپادها را به‌منظور بهـــره‌وری انرژی در جمع‌آوری داده با هزینه‌های متفاوت مورد بررسی قرار می‌دهیم تا نتایج بهتری را شاهد باشیم. شکل ٤ مقادیر متغیرهای این سناریو را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در جدول ٤ نیز مشـــاهد می‌شود، در این سناریو از سه پهپاد برای خدمات‌رسانی به گره‌های اینترنت اشیاء استفاده شده و میزان مجموع انرژی مصرف‌شده در خروجی ۵۲۱۱ وات محاســـبه شده اســـت. در این سناریو نیز با افزایش دورهٔ تکرار نمودار ســـیر نزولی پیدا می‌کند، اما برخلاف شـــکل ۳ در اینجا افزایش دورهٔ تکرار منجر به کاهش مقدار انرژی بین پهپاد شده است. برای صرفه‌جویی در انرژی و زمان می‌توان از تعداد بیشتری پهپاد استفاده کرد.

ما داده‌های شبیه‌ســـازی‌های انجام‌شـــده بـــرای یافتن کوتاه‌ترین مسیر توسط چند پهپاد به‌منظور بهره‌وری انرژی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد را با استفاده از برنامهٔ متلب مورد ارزیابی قرار دادیم. آنچه

جدول ۵: نتایج به دست آمده عملکرد چند پهپاد

تعداد پهپاد	کل دوره‌های تکرار	مجموع انرژی مصرفی هر پهپاد	نتیجهٔ همگرایی مسیر در تعداد دوره
۲	۲۰۰	۱۰،۵۲۶	۱۵۰
۳	۲۰۰	۵۲۱۱	۹۰
۴	۲۰۰	۴۴۹۷	۷۰
۵	۲۰۰	۲۶۸۶	۵۰
۶	۲۰۰	۱۱۴۲	۵۰
۷	۲۰۰	۴۱۶	۵۰
۸	۲۰۰	۴۴۰	۵۰



شکل۵: نمودار ارزیابی تعدد پهپادها در هر تعداد دورهٔ تکرار

شاهد هســـتیم این است که در این شبیه‌سازی‌ها با افزایش دوره‌های تکرار الگوریتم، به یک مســـیر همگرا دســـت پیدا می‌کنیم. نتایج این ارزیابی در جدول ۵ و شکل ۵ آمده است.

یکی از نتایـــج مهمی که می‌تـــوان از خروجی ارزیابی استنتاج کرد این است که اگر به‌عنوان مثال دو پهپاد داشته باشـــیم، مســـیر بهینه با ۱۵۰ بار تکرار الگوریتم به‌دست می‌آید و با افزایش تعداد پهپادها به ۵ عدد، تعداد دوره‌های تکرار به ۵۰ دورهٔ تکـــرار کاهش خواهد یافت؛ اما از جایی به بعد در حالی‌که افزایش تعداد پهپاد منجر به شناســـایی مســـیرهای جدید دیگری می‌شـــود، تعداد دوره‌های تکرار ثابت می‌مانـــد و دیگر تغییر نمی‌کند. این موضوع نشـــان می‌دهد که افزایش تعداد پهپادهـــا در بهره‌وری انرژی در جمـــع‌آوری داده مؤثر نخواهد بود. بنابراین، می‌توان گفت که برای خدمات‌دهی به ٦۰ دستگاه اینترنت اشیاء در مدت زمان کوتاه و با صرفه‌جویی در مصرف انرژی، تنها به ۵ پهپاد نیاز خواهیم.

نتیجه گیری

اســـتفاده از پهپادها دیگر افسانه نیست و واقعی شدن آن‌ها ظهور برنامه‌های کاربردی به کمک پهپادها را به‌دنبال دارد. طبیعی اســـت کـــه هر برنامهٔ کاربـــردی ویژگی‌ها و مزیت‌های رقابتی خاص خود را خواهند داشت. جمع‌آوری داده توســـط چندیـــن پهپاد در لبهٔ ســـیار ابر (دسترســـی چندگانـــه) به هنگام وقوع بلاهای طبیعـــی و غیرطبیعی به شـــبکه‌های مخابراتی در صرفه‌جویی انرژی کمک خواهد کرد. همچنین، به دلیل محدودیت‌های دستگاه‌های اینترنت اشیاء، استفاده از پهپادها و یافتن راه‌حلی جهت ماندگاری بیشـــتر انرژی در باتری‌های این دســـتگاه‌ها با اســـتفاده الگوریتم‌های مســـیریابی به بهره‌وری انرژی شـــبکه‌های اینترنت اشیاء کمک شایانی خواهد داشت.

در این مقاله، دســـتاوردهای محققین و دانشـــمندان در زمینهٔ بهره‌وری انرژی توسط پهپاد در شبکه‌های مخابراتی در ســـه بخش بهره‌وری انرژی در شـــبکه داخلـــی پهپاد، بهره‌وری انرژی در ارتباطات دستگاه‌های اینترنت اشیاء با پهپاد، و بهره‌وری انرژی در مسیریابی پهپادها در دریافت داده مورد بررسی قرار گرفته است. این مطالعات با استفاده از الگوریتم‌هـــای جدید و روش‌های کارآمـــد در بهره‌وری انرژی انجام شده است تا زمینه را برای تحقیقات بیشتر در این زمینه مساعد نماید. روش پیشنهادی این مطالعه نیز در راستای همین موضوعات گســـترش داده شده است. برای کارهای آینده، روش‌های یادگیری در خود پهپادها می‌تواند بهینه‌سازی‌های توسعه داده شده در این مقاله را به صورت توزیعی و استقلالی انجام دهد. همچنین محاسبات لبه اینترنت اشیاء بستر الگوریتم‌های فدرالی برای یادگیری را نیز فراهم آورده اســـت که به‌عنوان کارهای آینده توصیه می‌شود. به غیـــر از انرژی معیارهای فراوانی در ســـال‌های اخیر برای بهینه‌سازی پیشنهاد شده است مثلا هم‌مکان سازی بعضی از سرویس‌دهنده‌ها به‌عنوان قید و یا پارامترهای کیفی مثل امنیت و نیازمندی‌هایی مثل رمزنگاری و تصدیق هویت که نیاز بیشتری را برای تحقیق به وجود آورده است.

مراجع

[1]W. Shafik, S. M. Matinkhah, M. N. Sanda, and F. Shokoor, “Internet of things-based energy efficiency optimization model in fog smart cities,” JOIV Int. J. Inform. Vis., vol. 5, no. 2, pp. 105–112, 2021.

[2]M.-A. Messous, H. Sedjelmaci, N. Houari, and S.-M. Senouci, “Computation offloading game for an UAV network in mobile edge computing,” in 2017 IEEE International Conference on Communications (ICC), May 2017, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICC.2017.7996483.

[3]Z. Torki and S. M. Matinkhah, “Optimization resource allocation in NOMA-based fog computing with a hybrid algorithm,” in 2021 11th international conference on computer engineering and knowledge (ICCKE), 2021, pp. 1–6.

[4]J. Martín-Pérez, L. Cominardi, C. J. Bernardos, A. de la Oliva, and A. Azcorra, “Modeling Mobile Edge Computing Deployments for Low Latency Multimedia Services,” IEEE Trans. Broadcast., vol. 65, no. 2, pp. 464–474, Jun. 2019, doi: 10.1109/TBC.2019.2901406.

[5]N. Hassan, S. Gillani, E. Ahmed, I. Yaqoob, and M. Imran, “The role of edge computing in internet of things,” IEEE Commun. Mag., vol. 56, no. 11, pp. 110–115, 2018.

[6]S. C. Shah, “Mobile Edge Cloud: Opportunities and Challenges,” in 2017 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI), Dec. 2017, pp. 1572–1577. doi: 10.1109/CSCI.2017.348.

[7]V. Hassija, V. Chamola, D. N. G. Krishna, and M. Guizani, “A Distributed Framework for Energy Trading Between UAVs and Charging Stations for Critical Applications,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 69, no. 5, pp. 5391–5402, May 2020, doi: 10.1109/TVT.2020.2977036.

[8]H. Meng, W. Shafik, S. M. Matinkhah, and Z. Ahmad, “A 5G Beam Selection Machine Learning Algorithm for Unmanned Aerial Vehicle Applications,” Wirel. Commun. Mob. Comput., vol. 2020, 2020.

[9]W. Shafik, S. M. Matinkhah, F. Shokoor, and L. Sharif, “A reawakening of machine learning application in unmanned aerial vehicle: Future research motivation,” EAI Endorsed Trans. Internet Things, vol. 8, no. 29, pp. e3–e3, 2022.

[10]H. Yang and X. Xie, “Energy-Efficient Joint Scheduling and Resource Management for UAV-Enabled Multicell Networks,” IEEE Syst. J., vol. 14, no. 1, pp. 363–374, Mar. 2020, doi: 10.1109/JSYST.2019.2911895.

[11]H. Price, “Federal Aviation Administration (FAA) Forecast Fiscal Years (FY) 2017-2038 | Federal Aviation Administration,” Federal Aviation Administration (FAA) Forecast Fiscal Years (FY) 2017-2038, Mar. 15, 2018. https://www.faa.gov/newsroom/federal-aviation-administration-faa-forecast-fiscal-years-fy-2017-2038 (accessed Apr. 07, 2023).

[12]M. Lombardi, F. Pascale, and D. Santaniello, “Internet of Things: A General Overview between Architectures, Protocols and Applications,” Information, vol. 12, no. 2, p. 87, 2021.

[13]W. Shafik, S. M. Matinkhah, and M. Ghasemzadeh, “Theoretical Understanding of Deep Learning in UAV Biomedical Engineering Technologies Analysis,” SN Comput. Sci., vol. 1,

no. 6, pp. 1–13, 2020.
[14]C. Wang, J. Wang, Y. Shen, and X. Zhang, “Autonomous Navigation of UAVs in Large-Scale Complex Environments: A Deep Reinforcement Learning Approach,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 68, no. 3, pp. 2124–2136, Mar. 2019, doi: 10.1109/TVT.2018.2890773.
[15]M. Li, N. Cheng, J. Gao, Y. Wang, L. Zhao, and X. Shen, “Energy-Efficient UAV-Assisted Mobile Edge Computing: Resource Allocation and Trajectory Optimization,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 69, no. 3, pp. 3424–3438, Mar. 2020, doi: 10.1109/TVT.2020.2968343.
[16]G. J. Lim, S. Kim, J. Cho, Y. Gong, and A. Khodaei, “Multi-UAV pre-positioning and routing for power network damage assessment,” IEEE Trans. Smart Grid, vol. 9, no. 4, pp. 3643–3651, 2016.
[17]I. Jawhar, N. Mohamed, and J. Al-Jaroodi, “UAV-based data communication in wireless sensor networks: Models and strategies,” in 2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), IEEE, 2015, pp. 687–694.
[18]W. Shafik, S. M. Matinkhah, and M. Ghasemzadeh, “Internet of things-based energy management, challenges, and solutions in smart cities,” J. Commun. Technol. Electron. Comput. Sci., vol. 27, pp. 1–11, 2020.
[19]W. Shafik, S. M. Matinkhah, and M. Ghasemzadeh, “A fast machine learning for 5g beam selection for unmanned aerial vehicle applications,” Inf. Syst. Telecommun., vol. 7, no. 28, pp. 262–278, 2019.
[20]W. Shafik, S. M. Matinkhah, and M. Ghasemazade, “Fog-mobile edge performance evaluation and analysis on internet of things,” J. Adv. Res. Mob. Comput., vol. 1, no. 3, pp. 1–17, 2019.
[21]X. Tang, H. Zhang, R. Zhang, D. Zhou, Y. Zhang, and Z. Han, “Robust Trajectory and Offloading for Energy-Efficient UAV Edge Computing in Industrial Internet of Things,” IEEE Trans. Ind. Inform., pp. 1–12, 2023, doi: 10.1109/TII.2023.3256375.
[22]J. Li, C. Yi, J. Chen, K. Zhu, and J. Cai, “Joint Trajectory Planning, Application Placement and Energy Renewal for UAV-Assisted MEC: A Triple-Learner Based Approach,” IEEE Internet Things J., pp. 1–1, 2023, doi: 10.1109/JIOT.2023.3262687.
[23]B. Zuo, Y. Xu, D. Yang, L. Xiao, and T. Zhang, “Joint resource optimization and trajectory design for energy minimization in UAV-assisted mobile-edge computing systems,” Comput. Commun., vol. 203, pp. 312–323, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.comcom.2023.03.013.
[24]A. Amrallah, E. M. Mohamed, G. K. Tran, and K. Sakaguchi, “Optimization of UAV 3D Trajectory in a Post-disaster Area Using Dual Energy-Aware Bandits,” IEICE Commun. Express, vol. advpub, p. 2023TCL0015, 2023, doi: 10.1587/comex.2023TCL0015.
[25]C. Zhou, S. Shi, C. Wu, and S. Wei, “Energy efficient UAV-assisted communication with joint resource allocation and trajectory optimization in NOMA-based internet of remote things,” Wirel. Netw., Feb. 2023, doi: 10.1007/s11276-023-03280-1.
[26]S. Aljubayrin, “Computational energy efficient trajectory planning for UAV-enabled 6G MEC communication network,” Phys. Commun., vol. 57, p. 102000, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.phycom.2023.102000.
[27]P. Qin, X. Wu, X. Zhao, and H. Zhao, “Energy-Efficient UAV Trajectory Plan for 6G Networks,” in Communications, Signal Processing, and Systems, Q. Liang, W. Wang, X. Liu, Z. Na, and B. Zhang, Eds., in Lecture Notes in Electrical Engineering. Singapore: Springer Nature, 2023, pp. 143–151. doi: 10.1007/978-981-99-1260-5_18.
[28]J. Xu, D. Wu, J. Yuan, H. Liu, X. Zhai, and K. Liu, “Trajectory Optimization for Propulsion Energy Minimization of UAV Data Collection,” in Web and Big Data, B. Li, L. Yue, C. Tao, X. Han, D. Calvanese, and T. Amagasa, Eds., in Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023, pp. 224–236. doi: 10.1007/978-3-031-25158-0_18.
[29]M. M. H. Rahman, M. Al-Naeem, A. Banerjee, and A. Sufian, “EETO-GA: Energy Efficient Trajectory Optimization of UAV-IoT Collaborative System Using Genetic Algorithm,” Appl. Sci., vol. 13, no. 4, Art. no. 4, Jan. 2023, doi: 10.3390/app13042535.
[30]J. Zheng, Y. Hong, W. Xu, W. Li, and Y. Chen, “An effective iterated two-stage heuristic algorithm for the multiple Traveling Salesmen Problem,” Comput. Oper. Res., vol. 143, p. 105772, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.cor.2022.105772.