

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مخابرات سیستم

ذخیره سازی محتوا در شبکه های مخابراتی بیسیم مبتنی بر UAV

نگارنده: اسداله باصری گرمه

استاد راهنما:

محمدرضا جوان

بهمن ۱۳۹۹

تقدیم به:

پدر و مادرم، به پاس زحمات بی دریغشان

قدردانی

سپاس خداوندگار حکیم را که با لطف بی‌کران خود، آدمی را زیور عقل آراست.

در آغاز وظیفه خود می‌دانم از زحمات بی‌دریغ استاد راهنما خود، جناب آقای دکتر محمدرضا جوان، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم که قطعا بدون راهنمایی‌های ارزنده ایشان، این مجموعه به انجام نمی‌رسید. همچنین از سایر اساتید گرانقدر دانشگاه صنعتی شاهرود که افتخار شاگردی آنها را در طول این دوره داشته‌ام، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

در پایان بوسه می‌زنم بر دستان خداوندگار مهر و مهربانی و خانواده عزیزم و ستایش می‌کنم وجود مقدسشان را که بهترین پشتیبان من بوده‌اند.

تعهدنامه

اینجانب اسداله باصری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته برق مخابرات سیستم دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با موضوع ذخیره سازی محتوا در شبکه های مخابراتی بیسیم مبتنی بر UAV تحت راهنمایی دکتر محمدرضا جوان متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام دانشگاه صنعتی شاهرود و یا Shahrood University of Technology به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آن ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ :

امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات، مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

اخیرا شبکه‌های ناهمگون سلولی با قابلیت ذخیره سازی محتوا به عنوان یک راه حل مناسب جهت مواجهه با افزایش روزافزون تقاضا برای سرویس‌های چند رسانه‌ای با تأخیر کم و نرخ داده بالا در شبکه‌های نسل پنجم سلولی توسعه پیدا کرده است. در حالت کلی، شبکه‌های با قابلیت ذخیره‌سازی محتوا در دو فاز زمانی جدا از هم به نام‌های فاز ذخیره‌سازی محتوا و فاز تحویل محتوا کار می‌کنند. در فاز ذخیره‌سازی هدف طراحی یک الگوریتم ذخیره‌سازی محتوا جهت بهبود کارایی تحویل محتواهای درخواست داده‌شده در شبکه می‌باشد. برای این منظور، با تلفیق استراتژی‌ها و ارسال لایه فیزیکی، ما یک الگوریتم ذخیره‌سازی کارا با به کار گیری فواید استراتژی‌های منعطف ارسال در کانال‌های بی‌سیم بکمال و دسترسی به صورت همزمان ارائه می‌دهیم. برای این منظور، الگوریتم طرح شده ذخیره‌سازی محتواها بر مبنای تخصیص بهینه توام منابع ذخیره‌سازی در ایستگاه‌های پایه و منابع رادیویی کانال‌های دسترسی و بکمال می‌باشد. استفاده از معماری‌های جدید نسل پنجم به عنوان راهکار مناسبی برای برطرف کردن چالش‌های آینده مطرح می‌شود. در این راستا استفاده از هواپیمای بدون سرنشین (UAV)^۱ به عنوان ایستگاه پایه هوایی (ABS)^۲ و ذخیره‌سازی محتوا در آن، می‌تواند راندمان طیفی پوشش و قابلیت اطمینان را بهبود بخشد. ایستگاه‌های پایه هوایی به عنوان راه حل امیدوار کننده‌ای برای تامین کردن نیازهای ترافیکی، بخش مهمی از ارتباطات آینده شبکه‌های مخابراتی را تشکیل می‌دهند. در این پایان‌نامه یک طرح کلی ذخیره‌سازی محتواها در UAVها را ارائه می‌دهیم، سپس یک مسئله ذخیره‌سازی محتوا بر مبنای استراتژی ذخیره‌سازی از پیش تعیین شده و درخواست‌های لحظه‌ای کاربران در شبکه فرمول بندی می‌کنیم. هدف در طرح الگوریتم پیشنهادی کمینه کردن توان مصرفی UAVها می‌باشد. نتایج بدست آمده در شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که طراحی الگوریتم ذخیره‌سازی محتواها، با توجه به شرایط کانال‌های مخابراتی توان مصرفی UAVها را کاهش می‌دهد.

کلمات کلیدی: ذخیره‌سازی محتوا، ایستگاه پایه هوایی، تخصیص توام منابع رادیویی، تاخیر

^۱ Unmanned Aerial Vehicle

^۲ Air Base Station

فهرست مطالب

۱- فصل اول : مقدمه	۱
۱-۱- کلیات	۲
۲-۱- ضرورت انجام تحقیق	۵
۳-۱- ساختار پایان نامه	۶
۲- فصل دوم : مروری بر مفاهیم و کارهای انجام شده	۷
۱-۲- مقدمه	۸
۲-۲- شبکه‌های ناهمگون سلولی	۸
۳-۲- فناوری دسترسی چندگانه فرکانسی متعامد	۸
۴-۲- ذخیره‌سازی محتواها در شبکه‌های بی‌سیم	۱۰
۵-۲- روش‌های ذخیره‌سازی محتوا در شبکه‌های بی‌سیم	۱۰
۶-۲- مزایای ذخیره‌سازی محتواها در شبکه‌های بی‌سیم	۱۶
۷-۲- چالش‌های ذخیره‌سازی محتواها در شبکه‌های بی‌سیم	۱۷
۸-۲- UAVها در شبکه‌های بی‌سیم	۱۹
۹-۲- مزایای فناوری UAV در شبکه‌های بی‌سیم با قابلیت ذخیره‌سازی محتواها	۲۰
۱۰-۲- چالش‌های فناوری UAV در شبکه‌های بی‌سیم با قابلیت ذخیره‌سازی محتواها	۲۱
۱۱-۲- دسته‌بندی جامع از مسائل بهینه‌سازی طرح شده در حوزه شبکه‌های بی‌سیم با قابلیت ذخیره‌سازی و استفاده از UAV در شبکه‌های بی‌سیم	۲۲
۱-۱۱-۲- سیستم مدل‌های رایج در حوزه شبکه‌های بی‌سیم با UAV و قابلیت ذخیره‌سازی محتوا	۲۲
۲-۱۱-۲- متغیرهای بهینه‌سازی رایج در حوزه شبکه‌های بی‌سیم با UAV و قابلیت ذخیره‌سازی محتوا	۲۵
۳-۱۱-۲- توابع هدف رایج در حوزه شبکه‌های بی‌سیم با UAV و قابلیت ذخیره‌سازی محتوا	۲۶
۴-۱۱-۲- قیود رایج در حوزه شبکه‌های بی‌سیم با UAV و قابلیت ذخیره‌سازی محتوا	۲۷
۱۲-۲- مروری بر کارهای انجام‌شده در حوزه شبکه‌های بی‌سیم با قابلیت ذخیره‌سازی و استفاده از UAV در شبکه‌های بی‌سیم	۲۸
۱-۱۲-۲- کارهای انجام‌شده در حوزه طراحی الگوریتم‌های ذخیره‌سازی محتواها و UAVها	۲۹
۳- فصل سوم : الگوریتم پیشنهادی	۳۱
۱-۳- مقدمه	۳۲
۲-۳- تعریف مسئله	۳۲

۴۰	۳-۳ حل مسئله بهینه‌سازی پیشنهادی
۴۲	۳-۳-۱ مقداردهی اولیه
۴۲	۳-۳-۲ یافتن I به ازای مقادیر ثابت $P, Q, \beta, \delta, \zeta, ykxk$
۴۳	۳-۳-۴ یافتن (P, Q, β, x, x) به ازای مقادیر ثابت δ, ζ, A, I
۴۶	۳-۳-۵ یافتن δ, ζ به ازای مقادیر ثابت P, Q, β, x, x, A, I
۴۹	۳-۳-۶ یافتن A به ازای مقادیر ثابت $P, x, x, \delta, \zeta, I$
۵۵	۴- فصل چهارم : جمع بندی و شبیه‌سازی
۵۶	۴-۱ نتایج شبیه‌سازی
۵۸	۴-۱-۱ بررسی اثر ظرفیت حافظه ذخیره‌سازها
۵۹	۴-۱-۲ بررسی اثر زمان مجاز تحویل هر محتوا به کاربر، بر مجموع توان مصرفی کل شبکه (مرکز داده و UAVها)
۶۰	۴-۱-۳ بررسی اثر تعداد کاربران
۶۰	۴-۱-۴ بررسی اثر عدم تقارن توزیع محبوبیت محتواها
۶۱	۴-۱-۵ بررسی اثر حداکثر توان ارسالی مرکز داده
۶۲	۴-۱-۶ بررسی اثر تعداد زیر حامل‌ها بر مجموع توان ارسالی UAVها
۶۵	۵- فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات
۶۶	۵-۱ نتیجه‌گیری
۶۶	۵-۲ پیشنهادات
۶۸	منابع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲ انواع روش‌های ذخیره‌سازی مطرح‌شده در شبکه‌های بی‌سیم..... ۱۶
- شکل ۲-۲ مزایای ذخیره‌سازی محتواها در شبکه‌های بی‌سیم..... ۱۷
- شکل ۳-۲ چالش‌های استفاده از فناوری ذخیره‌سازی محتواها در شبکه‌های بی‌سیم..... ۱۹
- شکل ۴-۲ مزایای استفاده از فناوری UAV در شبکه‌های بی‌سیم..... ۲۱
- شکل ۵-۲ چالش‌های استفاده از فناوری UAV در شبکه‌های بی‌سیم..... ۲۲
- شکل ۶-۲ مدل‌های رایج در مسائل مربوط به UAVها و ذخیره‌سازی..... ۲۵
- شکل ۷-۲ متغیرهای بهینه‌سازی در شبکه‌های بی‌سیم با UAV و قابلیت ذخیره‌سازی..... ۲۶
- شکل ۸-۲ توابع هدف رایج در مسائل بهینه‌سازی مطرح‌شده در حوزه شبکه‌های بی‌سیم با UAVها و قابلیت ذخیره‌سازی..... ۲۷
- شکل ۹-۲ قیود رایج در مسائل مطرح‌شده در حوزه شبکه‌های بی‌سیم با UAVها و قابلیت ذخیره‌سازی..... ۲۸
- شکل ۱-۳ نمای کلی سیستم..... ۳۲
- شکل ۱-۴ مجموع توان مصرفی کل شبکه (مرکز داده و UAVها) نسبت به مقادیر مختلف ظرفیت حافظه ذخیره‌سازی UAVها (M) به ازای زمان‌های مختلف مجاز تحویل هر محتوا به کاربر..... ۵۸
- شکل ۲-۴ مجموع توان مصرفی کل شبکه (مرکز داده و UAVها) نسبت به مقادیر مختلف زمان مجاز تحویل هر محتوا به کاربر به ازای مقادیر مختلف حافظه ذخیره‌سازی در UAVها..... ۵۹
- شکل ۳-۴ اثر تعداد کاربران بر میزان توان مصرفی در UAVها با توجه به زمان‌های مختلف تحویل محتوا به کاربران..... ۶۰
- شکل ۴-۴ تأثیر پارامتر توزیع Zipf بر مجموع توان ارسالی UAVها به ازای زمان‌های مختلف تحویل محتوا به کاربران..... ۶۱
- شکل ۵-۴ تأثیر توان ارسالی مرکز داده در مجموع توان مصرفی UAVها..... ۶۲
- شکل ۶-۴ تأثیر تعداد زیر حامل‌ها بر مجموع توان مصرفی UAVها..... ۶۳

فهرست اختصارات

AWGN	Additive White Gaussian Noise
ADMM	Alternating Direction Method of Multipliers
CMP	Cache Most Popular
HetNet-C	enabled Heterogeneous Cellular Network-Cache
CDI	Channel Distribution Information
CSI	Channel State Information
CDN	Content Delivery Network
CoMP	Point-Coordinated Multi
D2D	Device Communication-to-Device
D.C.	Functions-Concave-Two-of-Difference
RAN-F	Radio Access Network-Fog
HCN	Heterogeneous Cellular Network
HetNet	Heterogeneous Network
ICN	Centric Network-Information
mmWave	Wave-Millimeter
MIDCP	Mixed-Integer Disciplined Convex Programming
MEC	Mobile Edge Computing
MIMO	Outputs-Multiple-Inputs-Multiple
NOMA	Orthogonal Multiple Access-Non
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PDI	Popularity Distribution Information
RAN	Radio Access Network
SINR	Signal to Interference Plus Noise Ratio
SIC	Successful Interference Cancellation
SCA	Successive Convex Approximation

فصل اول : مقدمه

۱-۱- کلیات

طبق مطالعات سیسکو^۱ ترافیک سراسری داده‌های موبایل^۲ از سال ۲۰۱۵ الی ۲۰۲۰ نزدیک به هشت برابر شده است که ناشی از توسعه شبکه‌های سلولی نسل چهارم^۳، نسل پنجم^۴ و ازدیاد روزافزون دستگاه‌های موبایل^۵ مانند تلفن‌های پیشرفته و تبلت‌ها می‌باشد [۱]. در این راستا تقاضا برای سرویس‌های چندرسانه‌ای^۶ با تأخیر کم و یا سرعت زیاد و متعاقباً نیاز به ظرفیت بالای کانال‌های بی‌سیم در شبکه‌های سلولی افزایش پیدا کرده است که سبب به وجود آمدن فشاری هنگفت بر فراهم آورندگان سرویس^۷ شبکه‌های سلولی می‌گردد [۲-۴].

در گذشته معماری شبکه‌های ناهمگون^۸ یعنی قراردادن ایستگاه‌های پایه فمتو^۹ و ایستگاه‌های پایه پیکو^{۱۰} درون ناحیه تحت پوشش^{۱۱} ایستگاه پایه ماکرو^{۱۲}، به عنوان راه‌حلی جهت بهبود گذردهی^{۱۳} شبکه گسترش داده شدند. با این حال چالش‌های زیادی در چگال کردن^{۱۴} شبکه‌های بی‌سیم^{۱۵} وجود دارد که عبارت‌اند از [۴،۵]:

۱. افزایش میزان تداخل^{۱۶} بین ایستگاه‌های پایه هم‌جوار در شبکه‌های دسترسی رادیویی^{۱۷} که باعث افت سیگنال به نویز و تداخل^{۱۸} می‌شود و لذا باید با دقت مدیریت شود.

^۱ CISCO

^۲ Global Mobile Data Traffic

^۳ Fourth-Generation Cellular Networks

^۴ Five-Generation Cellular Networks

^۵ Mobile Devices

^۶ Multimedia

^۷ Service Providers (SPs)

^۸ Heterogeneous Networks (HetNets)

^۹ Femto Base Stations (FBSs)

^{۱۰} Pico Base Stations (PBSs)

^{۱۱} Coverage Area

^{۱۲} Macro Base Station (MBS)

^{۱۳} Throughput

^{۱۴} Densification

^{۱۵} Wireless Networks

^{۱۶} Interference

^{۱۷} Radio Access Networks (RANs)

^{۱۸} Signal to Interference Plus Noise Ratio (SINR)

۲. کاهش قابلیت استفاده از لینک‌های بک‌هال^۱ به دلیل اتصال تمامی ایستگاه‌های پایه به شبکه

هسته^۲ که ظرفیت لینک‌های بک‌هال را کاهش می‌دهد.

متأسفانه، طبق مطالعات سیسکو میزان افزایش میانگین ظرفیت کانال‌های بی‌سیم فروسو^۳ در

شبکه‌های حال حاضر سلولی بسیار کمتر از میزان افزایش عظیم ترافیک داده ناشی از کاربران موبایل

است [۱]؛ لذا، نا همگون‌سازی شبکه‌های بی‌سیم و متعاقباً افزایش نسبی گذردهی، راه‌حل کافی برای

غلبه بر مشکل بار ترافیکی شبکه‌های حال حاضر نمی‌باشد. از طرفی، ظرفیت و قابلیت اطمینان^۴

لینک‌های بک‌هال از نظر کارایی و هزینه با چالش جدی مواجه گشتند [۳، ۵]. پژوهش‌های انجام شده

در مورد مسئله انفجار ترافیکی گواه بر آن است که سهم بزرگی از کل داده‌های موبایل مختص ارسال

مکرر تعداد کمی از محتواهای محبوب در شبکه می‌باشد [۱، ۳، ۶].

نسل پنجم مخابرات سلولی مدعی بر ارائه‌ی سه دسته‌ی کلی سرویس‌های با نرخ داده‌ی بسیار

بالا (eMBB^۵)، سرویس‌های با تأخیر بسیار پایین و قابلیت اطمینان بالا (URLL^۶) و سرویس‌های با

ظرفیت اتصال بسیار بالا (mMTC^۷) است. همچنین درنسل پنجم مخابرات سلولی این ادعا مطرح شده

است که هر یک از سرویس‌های بالا در هر مکان و هر شرایطی قابل ارائه باشند. همانطور که می‌دانیم

یکی از مشکلات اصلی ارائه‌ی این سرویس‌ها به صورت مداوم و با ویژگی و مشخصات از پیش تعیین

شده، این است که محیطی که قرار است سرویس‌ها در آن ارائه شود به صورت پویا تغییر می‌کنند [۴، ۹].

به عنوان مثال در مواقع اضطراری مانند بروز حوادث طبیعی نظیر سیل، آتش‌سوزی، زلزله و یا جشن‌های

ورزشی و فرهنگی نظیر المپیک و نمایشگاه‌ها تعداد کاربران به طور غیر خطی در یک مکان مشخص

افزایش می‌یابد. موارد ذکر شده ازجمله مواردی هستند که زیرساخت‌های از پیش تعیین شده و ثابت

^۱ Backhaul Links

^۲ Core Network

^۳ Downlink

^۴ Reliability

^۵ Extreme Mobile Broad Band

^۶ Ultra Reliable Low Latency

^۷ Massive Machine Type Communication

قابلیت پاسخگویی به نیازهای کاربران را ندارند، لذا برای تحقق سرویس‌های مطرح شده در نسل پنجم مخابرات سلولی ناچار به استفاده از زیر ساخت‌های غیر دائمی هستیم که متناسب با شرایط در محل مورد نظر قرار گرفته و سرویس‌دهی کنند. یکی از مواردی که به عنوان سرویس‌دهنده‌ی غیردائمی در نسل پنجم مطرح شده است استفاده از UAV^۱ می‌باشد.

از جمله کاربردهای مهم UAV می‌توان از آنها به‌عنوان ایستگاه‌های پایه هوایی به منظور ایفای نقش مخابراتی، بعنوان پلتفرمی که نقش پردازشگر و محاسباتی را داشته باشد (در شبکه‌های مبتنی بر سنسور به علت زیاد بودن حجم داده‌های اطلاعاتی پردازش اطلاعات برای کاربران سخت می‌باشد لذا کاربران این اطلاعات را به UAVها می‌فرستند و UAVها پردازش مورد نیاز را انجام داده و به کاربران برمی‌گردانند). به‌عنوان بک‌هال شبکه زمینی که در آن نقش یک رابط بین ایستگاه‌های پایه زمینی و ماهواره‌ها را داشته باشد به طوری که ایستگاه‌های پایه اطلاعات را به UAV می‌فرستد و در آنجا UAV بعد از پردازش اطلاعات آن را به ماهواره و یا UAVهای دیگر می‌فرستد. در ضمن باید این نکته را در نظر داشته باشیم که حتماً اطلاعات نباید در UAV پردازش شود و این امر ممکن است در ایستگاه‌های پایه زمینی انجام گیرد و یا اینکه بخشی از اطلاعات در ایستگاه‌های پایه‌ی زمینی و بخشی در UAVها پردازش شود. از این رو با توجه به کاربردهای UAV و حافظه‌ی ذخیره سازی محتوا در آنها به دلیل موقعیت مکانی که UAVها در آن قرار می‌گیرند محتواهای محبوب درخواستی کاربران انتهایی به صورت محلی در اختیار آنها قرار می‌گیرد که باعث افزایش بهره‌وری می‌گردد [۱۰،۹،۵].

علاوه بر این شبکه‌های ناهمگون سلولی با قابلیت ذخیره‌سازی محتوا به‌عنوان یک راه‌حل مناسب جهت مواجهه با افزایش روزافزون تقاضا برای سرویس‌های چند رسانه‌ای با تأخیر کم و نرخ داده بالا در شبکه‌های نسل پنجم سلولی توسعه پیدا کرده است. از این رو برای غلبه بر چالش‌های موجود در شبکه‌های ناهمگون (افزایش میزان تداخل بین ایستگاه‌های پایه هم‌جوار که باعث افت سیگنال به نویز

^۱ Unmanned Aerial Vehicle

می‌شود و کاهش استفاده از لینک‌های بک‌هال بدلیل اتصال تمامی ایستگاه‌های پایه به شبکه هسته که ظرفیت لینک‌های بک‌هال را کاهش می‌دهد) شبکه‌های ناهمگون سلولی با قابلیت ذخیره سازی محتوا معرفی شده‌اند که در آنها هر ایستگاه حاوی یک حافظه ذخیره سازی می‌باشد. با استفاده از روش ذخیره‌سازی محتوا در ایستگاه‌های پایه، قبل از درخواست دادن کاربران موبایل، محتواهای محبوب در حافظه‌های ایستگاه‌های پایه ذخیره می‌شوند و تقاضاهای کاربران هر سلول برای دریافت محتواهای ذخیره شده به جای آنکه محتواها از مراکز داده مکرراً بازیابی شوند به صورت محلی فراهم می‌شوند. لذا محتواها به کاربران نزدیکتر شده و کارایی شبکه از لحاظ تأخیر کاربران انتهایی شبکه و کاهش ترافیک بک‌هال که سبب کاهش هزینه تحویل محتوا در شبکه می‌شود بهبود می‌یابد. ذخیره سازی محتوا در دو فاز زمانی مختلف، به نام‌های فاز ذخیره سازی و فاز تحویل انجام می‌گیرد، فاز ذخیره سازی در زمان‌های اوقات مصرف شبکه عمل می‌کند که در آنها فرض می‌شود توزیع محبوبیت محتواها در فاز تحویل محتوا ثابت می‌ماند. هر بار که فاز ذخیره‌سازی محتوا تمام می‌شود فاز تحویل محتوا شروع می‌شود که در آن، ایستگاه‌های پایه آماده دریافت درخواست‌های لحظه‌ای کاربران می‌باشند و بر اساس مکان محتوای ذخیره شده شروع به ارسال محتواها می‌کنند [۵-۸].

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق

پژوهش‌های انجام شده در مورد مسئله انفجار ترافیکی گواه بر آن است که سهم بزرگی از کل داده‌های موبایل مختص ارسال مکرر تعداد کمی از محتواهای محبوب در شبکه می‌باشد. از این رو شبکه‌های ناهمگون سلولی با قابلیت ذخیره‌سازی محتوا به عنوان یک راه حل مناسب جهت مواجه با افزایش روزافزون تقاضا برای سرویس‌های چند رسانه‌ای با تأخیر کم و نرخ داده بالا در شبکه‌های نسل پنجم سلولی توسعه پیدا کرده است. از این رو برای غلبه بر چالش‌های موجود در شبکه‌های ناهمگون (افزایش میزان تداخل بین ایستگاه‌های پایه هم‌جوار که باعث افت سیگنال به نویز می‌شود و کاهش استفاده از لینک‌های بک‌هال بدلیل اتصال تمامی ایستگاه‌های پایه به شبکه هسته که ظرفیت

لینک‌های بک‌پال را کاهش می‌دهد) شبکه‌های ناهمگون سلولی با قابلیت ذخیره سازی محتوا معرفی شده‌اند که در آنها هر ایستگاه حاوی یک حافظه ذخیره سازی می‌باشد. همچنین با استفاده از UAVها به عنوان ایستگاه پایه این امکان را برای فراهم آوردن گان سرویس‌های مخابراتی ایجاد می‌کند که با ذخیره‌سازی محتوا در خواست‌های کاربران انتهایی شبکه را زودتر فراهم نمایند.

۱-۳- ساختار پایان‌نامه

در فصل دوم، در ابتدا به بررسی مفاهیم استفاده شده در این پایان‌نامه نظیر شبکه‌های ناهمگون سلولی، UAVها، فناوری دسترسی چندگانه متعامد فرکانسی و ذخیره سازی محتوا در شبکه‌های بی‌سیم می‌پردازیم. سپس کارهای انجام شده در حوزه ذخیره سازی محتوا در شبکه‌های بی‌سیم و کاربرد UAVها در شبکه‌های بی‌سیم را از منظرهای مختلف دسته‌بندی می‌کنیم.

در فصل سوم، ابتدا مدل پیشنهادی را مطرح می‌کنیم. سپس، طرحی را به منظور ذخیره‌سازی محتوا در UAVها را ارائه کرده و در فاز ذخیره‌سازی، یک مسئله بهینه سازی فرمول بندی می‌کنیم. در ادامه، مسئله مطرح شده غیرمحدب را با استفاده از الگوریتم پیشنهادی حل کرده و پیچیدگی محاسباتی الگوریتم پیشنهادی را بررسی می‌نماییم. در انتها نیز به کمک شبیه‌سازی‌ها، کاری الگوریتم‌های پیشنهادی را با سایر روش‌های موجود مقایسه می‌کنیم.

در فصل چهارم، بعد از جمع‌بندی مسائل و راهکارهای ارائه شده، برای ادامه کار پیشنهادهایی ارائه می‌کنیم.

فصل دوم : مروری بر مفاهیم و کارهای انجام شده

۲-۱- مقدمه

در این فصل، در ابتدا به معرفی فناوری‌های بکار برده شده در این پایان‌نامه می‌پردازیم، نظیر، UAVها، شبکه‌های ناهمگون سلولی، روش دسترسی چندگانه متعامد فرکانسی و ذخیره‌سازی محتواها در شبکه بی‌سیم. سپس به طور خاص به بررسی انواع روش‌های ذخیره‌سازی محتواها و مزایا و چالش‌های آن‌ها و همچنین کاربردها مزایا و چالش‌های مربوط به UAVها می‌پردازیم. در انتها کارهای انجام‌شده در زمینه ذخیره‌سازی محتواها در شبکه‌های بی‌سیم و UAVها را از منظرهای مختلف دسته‌بندی می‌کنیم.

۲-۲- شبکه‌های ناهمگون سلولی

یکی از چالش‌های بزرگ در شبکه‌های نسل چهارم و پنجم، کمبود منابع رادیویی می‌باشد که با نزدیک‌تر کردن فرستنده به گیرنده تا حدودی قابل‌حل می‌باشد. برای این منظور شبکه‌های ناهمگون سلولی مطرح شده‌اند [۳۵، ۳۴، ۴]. در این نوع از شبکه‌های بی‌سیم، امکان استفاده مجدد فرکانسی در ناحیه کوچک‌تری از سیستم فراهم شده است که در حالت ساده، شامل یک ایستگاه پایه ماکرو و تعدادی ایستگاه پایه کوچک، نظیر پایه فمتو و پیکو، می‌باشد [۱۶، ۳۵]. ایستگاه پایه ماکرو حاوی توان ارسالی بیشتری نسبت به ایستگاه‌های پایه کوچک بوده و معمولاً وظیفه فراهم نمودن ناحیه پوشش‌دهی کل شبکه را عهده‌دار می‌باشد. در حالی‌که، ایستگاه‌های پایه کوچک با توان ارسالی کمتر به کاربران، مسئول فراهم نمودن نرخ داده^۱ موردنیاز کاربران در شبکه می‌باشند [۲۶، ۳۴، ۳۹].

۲-۳- فناوری دسترسی چندگانه فرکانسی متعامد

روش OFDMA، یک روش تخصیص پهنای باند فرکانسی مطرح‌شده در شبکه‌های سلولی نسل چهارم می‌باشد که در آن، در ابتدا پهنای باند فرکانسی کل سیستم به تکه‌های کوچک‌تر عمود بر هم

^۱ Data Rate

از نظر فرکانسی تقسیم می‌شود. به هر یک از این پهنای باند کوچک، یک زیرحامل^۱ گفته می‌شود. پهنای باند هر زیر حامل بسیار کوچک‌تر از پهنای باند همدوسی^۲ کل سیستم می‌باشد؛ بنابراین، محوشوندگی کانال‌های رادیویی در هر زیرحامل به‌صورت محوشوندگی مسطح^۳ مدل می‌شود. در شبکه‌های سلولی بی‌سیم با استفاده از تکنیک OFDMA، در هر سلول، هر زیرحامل تنها می‌تواند به یک کاربر تخصیص داده شود. با این تکنیک، تداخل درون‌سلولی^۴ کاربران از بین می‌رود و کاربران تنها تداخل بین‌سلولی^۵ از سلول مجاور را دریافت می‌کنند؛ لذا کارایی طیفی در کاربران افزایش می‌یابد و شبکه می‌تواند تعداد کاربران بیشتری را تحت پوشش قرار دهد.

در شبکه‌های بی‌سیم مبتنی بر OFDMA، چالش اساسی در نحوه تخصیص زیرحامل و توان ارسالی روی هر زیرحامل به کاربر می‌باشد. استراتژی‌های مختلفی برای این تخصیص منابع رادیویی در شبکه‌های بی‌سیم طراحی شده است که هرکدام، بنا به هدفی، یک تصمیم بهینه جهت افزایش کارایی سیستم موردنظر خود می‌گیرند؛ لذا، در سناریوهای مبتنی بر فناوری OFDMA، یک مسئله بهینه‌سازی طرح می‌شود که عمدتاً از نوع غیر محدب می‌باشد. از آنجایی که به‌دست‌آوردن جواب بهینه سراسری برای این نوع از مسائل بسیار مشکل می‌باشد و در عمل غیرقابل‌دسترس است. در اکثر موارد یک جواب زیربهینه^۶ با استفاده از تکنیک‌های تقریب مسائل غیر محدب، به دست می‌آورند. روش‌های تقریب متفاوتی برای تبدیل این نوع مسائل به مسائل محدب وجود دارد که هرکدام از منظر پیچیدگی محاسباتی، سرعت همگرایی و کارایی باهم متفاوت می‌باشند.

^۱ Subcarrier

^۲ Coherence Bandwidth

^۳ Flat Fading

^۴ Intra-Cell Interference

^۵ Inter-Cell Interference

^۶ Sub-Optimal Solution

۲-۴- ذخیره‌سازی محتواها در شبکه‌های بی‌سیم

همان‌طور که در فصل قبل بیان شد، ذخیره‌سازی محتواها در شبکه‌های بی‌سیم به عنوان راه‌حلی بالقوه برای فراهم نمودن تقاضای کاربران برای تأخیر کم مطرح گشت [۲۳، ۲۰، ۱۶، ۱۲]. همچنین، با با نزدیک شدن محتواها به کاربران انتهایی شبکه، هزینه سرویس‌دهی به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد [۳۱، ۳۰، ۲۲]. ذخیره‌سازی محتواها در ایستگاه‌های پایه عمدتاً در زمان‌های افت مصرف^۱ از طریق لینک‌های بک‌هال صورت می‌پذیرد تا از ازدیادترافیک بک‌هال در زمان‌های اوج مصرف^۲ شبکه جلوگیری شود [۴۰، ۲۸، ۲۲، ۱۸]. از مهمترین چالش‌های موجود در شبکه‌های دسترسی رادیویی با قابلیت ذخیره‌سازی محتوا، محدودیت حافظه ذخیره‌سازی‌های شبکه می‌باشد [۲۲، ۲۰]. لذا نمی‌توان همه محتواها را بطور هم‌زمان در حافظه ذخیره‌سازی‌های شبکه دسترسی رادیویی ذخیره کرد. بنابراین نیاز است یک ذخیره‌سازی با مصرف بهینه منابع ذخیره‌سازی در شبکه دسترسی رادیویی صورت بپذیرد. از مهمترین و معمول‌ترین معیارهای انتخاب یک استراتژی ذخیره‌سازی کارا در شبکه‌های دسترسی رادیویی، اطلاعات آماری محبوبیت محتواها می‌باشد که معمولاً تغییرات ناچیزی در مقابل درخواست‌های لحظه‌ای کاربران موبایل دارد [۲۲، ۲۰، ۱۶، ۱۲]. در ادامه، به انواع روش‌های ذخیره‌سازی مطرح‌شده، چالش‌ها و مزایای آن‌ها می‌پردازیم.

۲-۵- روش‌های ذخیره‌سازی محتوا در شبکه‌های بی‌سیم

روش‌های مطرح‌شده برای ذخیره‌سازی محتواها در شبکه‌های بی‌سیم براساس زمان عملکرد در فازهای ذخیره‌سازی و تحویل شبکه به دو صورت کلی می‌باشند:

۱. ذخیره‌سازی محتوا در زمان‌های افت مصرف شبکه: در این نوع از ذخیره‌سازی‌ها که عمدتاً در زمان‌های افت مصرف شبکه، برای مثال شب‌ها اتفاق می‌افتد، یک استراتژی ذخیره‌سازی معمولاً

^۱ Off-peak Times

^۲ Peak Traffic Times

بر اساس محبوبیت محتوا برای یک مدت طولانی انجام می‌شود، به طور یک‌پاره فرض می‌شود محبوبیت محتواها در یک بازه زمانی بلندمدت (فازتحویل محتوا) ثابت می‌ماند [۲۹،۲۵]. این نوع از مدل‌های ذخیره‌سازی، به ذخیره‌سازی offline یا ذخیره‌سازی پیش‌گرای^۱ معروف می‌باشند.

۲. به‌روزرسانی حافظه‌های ذخیره‌ساز در زمان‌های اوج مصرف شبکه: در این نوع از روش‌های ذخیره‌سازی، حافظه ذخیره‌سازها در فاز تحویل محتوا بعد از اتمام هر ارسال محتوا به کاربران، به‌روزرسانی می‌شوند [۳۸،۳۶،۳۳،۲۸،۲۰]. این نوع از روش‌های ذخیره‌سازی به روش جایگزینی حافظه^۲ یا ذخیره‌سازی online معروف می‌باشند [۳۷،۳۶،۲۳،۱۹]. حافظه‌ها نیز بنابر شرایط شبکه و درخواست‌های لحظه‌ای کاربران در شبکه به‌روزرسانی می‌گردند. این نوع از استراتژی‌های ذخیره‌سازی مستقل از محبوبیت محتواها در شبکه می‌باشد و تنها تابعی از درخواست‌های لحظه‌ای کاربران می‌باشد. همچنین فاصله زمانی این نوع از ذخیره‌سازی‌ها به مدت کمتری (انتهای هر دوره زمانی کوچک در فاز تحویل محتوا) انجام می‌شود [۳۸]. استراتژی‌های ذخیره‌سازی مطرح‌شده در نوع اول، یعنی ذخیره‌سازی offline، به دو صورت کلی می‌باشند:

الف: ذخیره‌سازی احتمالی^۳: در این استراتژی، احتمال ذخیره محتواها در حافظه المان‌های ذخیره‌ساز بدست می‌آید. که در آن ذخیره‌سازها براساس توزیع پواسن^۴ در یک ناحیه قرار گرفته‌اند. غالباً این نوع از روش‌های ذخیره‌سازی محتواها در مدل شبکه‌های بر مبنای هندسه تصادفی^۵ مطرح می‌گردند. از کاربردهای این روش، بررسی کارایی شبکه با یک دید وسیع‌تر می‌باشد. هرچند، در برخی مسائل

^۱ Proactive Caching

^۲ Cache Replacement

^۳ Probabilistic Caching

^۴ Poisson Distribution

^۵ Stochastic Geometry

بهینه‌سازی نیز از مدل ذخیره‌سازی احتمالی برای مقابله با قیود گسسته استفاده شده است که یک نوع تقریبی از حل بهینه مسائل را شامل می‌شود [۳۶،۲۹]. لذا، یک حد بالا یا پایین برای برنامه‌ریزی‌های گسسته بدست می‌آید.

ب: ذخیره‌سازی قطعی^۱: در این نوع از روش‌ها، هدف بدست آوردن پارامتر تصمیم‌گیری ذخیره‌سازی محتوا به صورت قطعی می‌باشد. لذا، خروجی این نوع روش‌ها، بصورت یک عدد باینری است که دقیقاً مشخص می‌کند کدام محتوا در حافظه کدام ذخیره‌ساز قرار دارد [۳۱،۲۳،۱۷،۱۴،۱۲]. این دسته از روش‌های ذخیره‌سازی کاربردی‌تر از حالت احتمالی می‌باشند و قابل استفاده در فاز تحویل محتوا نیز هستند (استراتژی‌های تحویل محتوا که بر اساس تصمیم‌گیری‌های معلوم‌شده در فاز زمانی ذخیره‌سازی تعیین می‌شود). [۱۸،۱۳]. در برخی از مواقع برای مقابله با شروط گسسته، می‌توان از روش‌های relax-and-rounding استفاده کرد که در نهایت یک پارامتر تصمیم‌گیری باینری حاصل می‌گردد [۱۹،۷]. مدل‌های ذخیره‌سازی مختلفی را می‌توان برای هر یک از روش‌های ذخیره‌سازی احتمالی و قطعی در نظر گرفت. در ادامه به چند دسته از مدل‌های متداول ذخیره‌سازی استفاده‌شده در کارهای پیشین اشاره می‌کنیم:

۱. ذخیره‌سازی غیرهمیار^۲: در این مدل ذخیره‌سازی، هر المان ذخیره‌ساز شبکه بر اساس استراتژی تعیین‌شده تعدادی از محتواها را ذخیره می‌نماید. اگر محتوای درخواست داده‌شده کاربر تحت پوشش هر المان ذخیره‌ساز در حافظه آن موجود باشد، محتوای ذخیره‌شده در آن بازیابی شده و به کاربر ارسال می‌گردد. در غیر این صورت، درخواست کاربر به مرکز داده انتقال داده شده و محتوای درخواستی کاربر در مرکز داده بازیابی می‌گردد و از طریق کانال بک‌هال به المان شبکه ارسال می‌گردد [۱۴، ۱۸، ۱۹، ۲۴].
۲. ذخیره‌سازی همیار^۳: در این نوع از مدل‌های ذخیره‌سازی، المان‌های ذخیره‌ساز شبکه

^۱ Certain Caching

^۲ Non-Cooperative Caching

^۳ Cooperative Caching

می‌توانند محتواهای ذخیره شده در حافظه‌های خود را طی یک ارتباط مستقیم با هم به اشتراک بگذارند. بنابراین، اگر محتوای درخواست داده‌شده در حافظه ذخیره‌ساز متصل به کاربر موجود نباشد، می‌تواند آن را از ذخیره‌سازهای مجاور بصورت مستقیم دریافت نماید. لذا، نیازی نیست محتواهای محبوب در حافظه تمامی بصورت تکراری ذخیره شوند. در این راستا، محتواهای بیشتری می‌توانند در شبکه دسترسی رادیویی بازیابی شوند و در نتیجه، درخواست‌های کمتری به مرکز داده ارسال می‌یابند [۲۹،۱۴،۱۳]. بنابراین ترافیک لینک‌های بک‌هال به مقدار قابل توجهی کم می‌شود. طبیعی است که ذخیره‌سازی همیار در شبکه‌های بی‌سیم دارای پیچیدگی محاسباتی بیشتری نسبت به روش‌های غیرهمیار می‌باشد. همچنین در مدل‌هایی که لینک‌های فرانت‌هال^۱ بین ایستگاه‌های پایه با ظرفیت محدودی مواجه هستند [۲۵،۲۳]، این مدل با مشکل روبرو می‌شود. یکی دیگر از چالش‌های این روش، پیاده‌سازی آن می‌باشد، زیرا نیازمند لینک‌های فرانت‌هال با ظرفیت بالا می‌باشد که در برخی مواقع عملی نیست [۲۷،۲۵،۱۵،۱۲]. از طرفی، ارتباط مستقیم بین ایستگاه‌های پایه در حالت بی‌سیم در برخی مواقع باعث افت سرعت تحویل شده و کارایی شبکه را کاهش می‌دهد.

۳. ذخیره‌سازی با استفاده از فناوری ارسال همیار^۲: در این نوع از استراتژی‌ها ایستگاه‌های پایه می‌توانند محتواهای درخواستی کاربران را از طریق فناوری ارسال چندنقطه‌ای هماهنگ^۳ فراهم کنند. در این فناوری، ایستگاه‌های پایه‌ای که حاوی یک محتوای همسان می‌باشند، بصورت هم‌زمان محتوا را به کاربر ارسال می‌کنند. لذا نرخ دریافت محتوا در کاربران افزایش یافته و بالتبع تأخیر کاربران کاهش می‌یابد [۱۴،۱۳].

۴. ذخیره‌سازی همیار با استفاده از فناوری ارسال همیار: این روش ذخیره‌سازی که اساساً

^۱ Fronthaul Links

^۲ Cooperative Transmission

^۳ Coordinated Multi-Point (CoMP)

بر مبنای هر دو استراتژی ذخیره‌سازی و ارسال همیار می‌باشد، از هر دو فرصت‌های ارتباط همیار بین ایستگاه‌های پایه و ارسال هم‌زمان از چند ایستگاه پایه به کاربر استفاده می‌کند [۱۴، ۱۳]؛ لذا حافظه ذخیره‌سازها به نحو بهتری از دو مدل ذخیره‌سازی قبل استفاده می‌شود، بدین صورت اگر محتوای یکسان در چند ایستگاه پایه ذخیره شوند نرخ ارسال داده در کاربران افزایش می‌یابد و اگر محتواهای مختلف بیشتری در شبکه ذخیره شوند، می‌توانند از طریق ارتباط همیار بین ایستگاه‌های پایه در شبکه دسترسی بازیابی شوند و ترافیک لینک‌های بک‌هال کاهش یابد [۳۵، ۱۴، ۱۳].

۵. ذخیره‌سازی کد شده با استفاده از فناوری ارسال یک به چند^۱: در این نوع از روش‌های ذخیره‌سازی، برای جلوگیری از ذخیره‌سازی تکراری محتواها در حافظه‌های محدود المان‌های ذخیره‌ساز، هر ذخیره‌ساز تکه‌ای از محتوا را ذخیره می‌کند. همچنین محتواهای درخواست شده کاربران از طریق فناوری ارسال یک به چند به صورت هم‌زمان به کاربران ارسال می‌شود [۳۳، ۳۲]. در این روش، تکه‌های مختلف محتوا باید در کاربر درخواست داده‌شده موجود باشد تا بتواند محتوای اصلی را بازیابی کند. این روش دارای کارایی بهتری نسبت به روش همیار بوده و همچنین پیچیدگی محاسباتی بالاتری دارد.

۶. ذخیره‌سازی کد شده با استفاده از فناوری ارسال چندنقطه‌ای هماهنگ: در این روش، تکه‌های مختلف یک فایل از طریق فناوری ارسال چندنقطه‌ای هماهنگ به کاربران ارسال می‌گردد [۳۳].

۷. ذخیره‌سازی در کاربران با استفاده از ارتباط مستقیم کاربر به کاربر^۲: در این مدل ذخیره‌سازی، هر کاربر دارای یک ظرفیت محدود ذخیره‌سازی بوده و می‌تواند محتواها را در حافظه خود ذخیره کند و طی یک ارتباط مستقیم با سایر کاربران، محتواهای

^۱ Multicasting

^۲ Device-to-Device Communication (D2D)

ذخیره شده را به اشتراک بگذارد [۳۹،۳۰،۲۲]. در این راستا، ترافیک شبکه دسترسی و بکهاال بصورت همزمان کاهش می‌یابد [۲۲] و هزینه مصرفی شبکه به مقدار قابل توجهی کم می‌شود. از طرفی، بدلیل ارتباط نزدیک بین کاربران، تأخیر دریافت فایل‌ها به مقدار قابل توجهی کم می‌شود.

۸. الگوریتم‌های ذخیره‌سازی ابتکاری: در این نوع از استراتژی‌های ذخیره‌سازی، الگوریتم‌ها دارای پیچیدگی بسیار پایین و کارایی نه‌چندان بهینه می‌باشند. این روش‌ها عمدتاً تنها بر اساس اندازه حافظه ذخیره‌سازها و محبوبیت درخواست محتوا بین کاربران شبکه طراحی می‌گردند. از نمونه روش‌های ذخیره‌سازی ابتکاری می‌توان به ذخیره محبوب‌ترین محتواها^۱ [۲۵،۲۴،۲۰]، محتواهایی که اخیراً استفاده شده‌اند^۲ [۳۳،۲۵،۲۰]، و ذخیره کسری از محتواها بصورت مجزا^۳ (در ارتباطات چند نقطه‌ای هماهنگ) اشاره کرد.

^۱ Cache Most Popular (CMP)

^۲ Machin learning

^۳ Machin learning



شکل ۱-۲ انواع روش‌های ذخیره‌سازی مطرح‌شده در شبکه‌های بی‌سیم

۲-۶- مزایای ذخیره‌سازی محتواها در شبکه‌های بی‌سیم

از مزایای استفاده از فناوری ذخیره‌سازی محتواها در شبکه‌های بی‌سیم، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. کاهش ترافیک بک‌هال: ناشی از نزدیک‌تر کردن محتواها به کاربران می‌باشد [۲۲]. با توجه به این کاهش ترافیک، در مصرف منابع ارسالی (پهنای باند و توان ارسالی) بک‌هال صرفه جویی می‌شود و هزینه مصرفی شبکه نیز کاهش می‌یابد.
۲. کاهش ترافیک دسترسی: با در نظر گرفتن ارتباط مستقیم کاربر به کاربر و قابلیت ذخیره‌سازی محتوا در آن‌ها، برخی از درخواست کاربران می‌توانند از طریق ارتباط کاربر به کاربر برآورده شوند. لذا، ترافیک شبکه دسترسی و بک‌هال به‌طور همزمان کاهش می‌یابد. و در نتیجه هزینه مصرفی شبکه کاهش چشمگیری پیدا می‌کند [۲۲، ۳۲، ۳۶].
۳. کاهش تأخیر دریافت محتواها: با نزدیک‌تر کردن هرچه بیشتر محتواها به کاربران، مسیر ارسال

محتوا کمتر شده و تأخیر کاربران کاهش می‌یابد [۲۲، ۱۸، ۱۵، ۱۲].

۴. کاهش هزینه مصرفی: طبق آنچه در موارد بالا گفته شد، ذخیره‌سازی محتواها باعث کاهش مصرف انرژی (توان ارسالی المان‌های شبکه) و پهنای باند دسترسی و بک‌هال نیز می‌شود که رابطه مستقیم با هزینه مصرفی شبکه دارد [۳۸، ۳۱، ۳۰].

۵. افزایش نرخ داده در کاربران: طی ارسال چند نقطه‌ای هماهنگ در برخی از مدل‌های ذخیره‌سازی، نرخ داده در کاربران افزایش پیدا می‌کند [۲۳، ۱۵، ۱۲].

شکل ۲-۲ مزایای ذخیره‌سازی محتواها در شبکه‌های بی‌سیم را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲ مزایای ذخیره‌سازی محتواها در شبکه‌های بی‌سیم

۲-۷- چالش‌های ذخیره‌سازی محتواها در شبکه‌های بی‌سیم

از چالش‌های موجود در شبکه‌های با قابلیت ذخیره‌سازی محتواها، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. محدودیت حافظه ذخیره‌سازی در المان‌های ذخیره‌ساز شبکه: از مهم‌ترین چالش‌های استفاده

از تکنیک ذخیره‌سازی محتواها در شبکه‌های بی‌سیم، محدودیت ظرفیت ذخیره‌سازی المان‌ها

می‌باشد که در آن، تنها تعداد محدودی از محتواها می‌توانند ذخیره شوند. بنابراین نیاز است

که یک استراتژی ذخیره‌سازی بهینه برای شبکه در نظر گرفته شود [۱۹، ۱۶، ۱۳].

۲. تخمین محبوبیت محتواها در شبکه: از آنجایی که استراتژی‌ای ذخیره‌سازی عمدتاً بر مبنای محدودیت محتواها طراحی می‌گردند، باید اطلاعات آماری محبوبیت محتواها به‌درستی در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار گرفته شوند؛ لذا یکی از چالش‌های اساسی در نوع از شبکه‌ها، تخمین محبوبیت محتواها می‌باشد.

۳. تعداد المان‌های ذخیره‌ساز و مکان قرارگیری آن‌ها: بدیهی است با بیشتر شدن تعداد المان‌های ذخیره‌ساز در شبکه، تعداد محتواهای بیشتری می‌توانند ذخیره شوند و بالطبع ترافیک بک‌هال به میزان بیشتری کاهش می‌یابد. از طرفی، افزایش تعداد المان‌های ذخیره‌ساز در شبکه هزینه بیشتری را به شبکه تحمیل می‌کند؛ لذا باید یک تصمیم‌گیری بهینه در مورد تعداد المان‌های ذخیره‌ساز در شبکه گرفته شود [۴۰، ۱۶].

۴. انرژی مصرفی ذخیره‌سازی و بازیابی محتواها از حافظه ذخیره‌سازها: هر عمل ذخیره‌سازی در شبکه، نیاز به یک انرژی مصرفی دارد. این انرژی شامل ذخیره‌سازی و بازیابی محتواها از حافظه ذخیره‌سازها می‌شود.

۵. هزینه مجهز کردن قابلیت ذخیره‌سازی در ایستگاه‌های پایه: هرچند هزینه استفاده از حافظه ذخیره‌سازها در مقابل منابع رادیویی کم می‌باشد، اما در برخی از کارها چنین هزینه‌ای در نظر گرفته شده است [۳۷، ۳۵، ۳۴].

شکل ۳-۲ چالش‌های استفاده از فناوری ذخیره‌سازی محتواها در شبکه‌های بی‌سیم را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲ چالش‌های استفاده از فناوری ذخیره‌سازی محتواها در شبکه‌های بی‌سیم

۲-۸- UAVها در شبکه‌های بی‌سیم

همان‌طور که می‌دانیم یکی از مشکلات اصلی ارائه این سرویس‌ها به‌صورت مداوم و با ویژگی و مشخصات از پیش تعیین شده، این است که محیطی که قرار است سرویس‌ها در آن ارائه شود به‌صورت پویا تغییر می‌کند. به‌عنوان مثال در مواقع اضطراری مانند بروز حوادث طبیعی نظیر سیل، آتش‌سوزی، زلزله و یا جشن‌های ورزشی و فرهنگی نظیر المپیک و نمایشگاه‌ها تعداد کاربران به‌طور غیرخطی در یک مکان مشخص افزایش می‌یابد. موارد ذکر شده ازجمله مواردی هستند که زیرساخت‌های از پیش تعیین شده و ثابت قابلیت پاسخگویی به نیازهای کاربران را ندارند، لذا برای تحقق سرویس‌های مطرح شده در نسل پنجم مخابرات سلولی ناچار به استفاده از زیرساخت‌های غیر دائمی هستیم که متناسب با شرایط در محل موردنظر قرار گرفته و سرویس‌دهی کنند. یکی از مواردی که به‌عنوان سرویس‌دهنده غیردائمی در نسل پنجم مطرح شده است استفاده از UAV می‌باشد. از جمله کاربردهای مهم UAV می‌توان از آنها به‌عنوان ایستگاه‌های پایه هوایی به منظور ایفای نقش مخابراتی، بعنوان پلتفرمی

که نقش پردازشگر و محاسباتی را داشته باشد. به عنوان بکهای شبکه زمینی که در آن نقش یک رابط بین ایستگاه‌های پایه زمینی و ماهواره‌ها را داشته باشد به طوری که ایستگاه‌های پایه اطلاعات را به UAV می‌فرستد و در آنجا UAV بعد از پردازش اطلاعات آن را به ماهواره و یا UAVهای دیگر می‌فرستد.

۹-۲- مزایای فناوری UAV در شبکه‌های بی‌سیم با قابلیت ذخیره‌سازی محتواها

از مزایای استفاده از فناوری UAV در شبکه‌های بی‌سیم، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. کاهش ترافیک بکهای: ناشی از نزدیک‌تر کردن محتواها به کاربران می‌باشد [۷، ۶، ۲، ۱]. با توجه

به این کاهش ترافیک، در مصرف منابع ارسالی (پهنای باند و توان ارسالی) بکهای صرفه‌جویی می‌شود و هزینه مصرفی شبکه نیز کاهش می‌یابد.

۲. کاهش تأخیر دریافت محتواها: با نزدیک‌تر کردن هرچه بیشتر محتواها به کاربران، مسیر ارسال

محتوا کمتر شده و تأخیر کاربران کاهش می‌یابد [۱۷، ۵، ۳].

۳. قابلیت تحرک: با بهره‌گیری کنترل دستی بر UAV می‌توانیم در مواقع حساس آن را در مکان

مشخصی قرار دهیم که این به ما کمک می‌کند تا زمان بهره‌گیری از سیستم ثابت در شبکه به درخواست کاربران پاسخ داده شود.

شکل ۴-۲ مزایای استفاده از فناوری UAV در شبکه‌های بی‌سیم را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۴ مزایای استفاده از فناوری UAV در شبکه‌های بی سیم

۲-۱۰- چالش‌های فناوری UAV در شبکه‌های بی سیم با قابلیت ذخیره‌سازی محتواها

از چالش‌های موجود در استفاده از فناوری UAV، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. محدودیت میزان توان UAV: از مهم‌ترین چالش‌های استفاده از فناوری UAV در شبکه‌های

بی سیم، محدودیت ظرفیت توان دستگاه می‌باشد که در آن، تنها مدت‌زمان مشخصی قادر به

پرواز می‌باشد؛ بنابراین نیاز است که یک استراتژی مصرف انرژی بهینه برای UAV در نظر

گرفته شود [۴، ۶].

۲. هزینه تجهیز کردن UAV به عنوان ایستگاه‌های پایه: استفاده از وسایل پرنده به خودی خود داری

هزینه بالایی می‌باشد حال آنکه استفاده از آن‌ها عنوان ایستگاه پایه هوایی نیازمند افزودن

فناوری‌های جدید و اضافی می‌باشد که بالطبع، هزینه را برای فراهم‌آوردگان سرویس افزایش

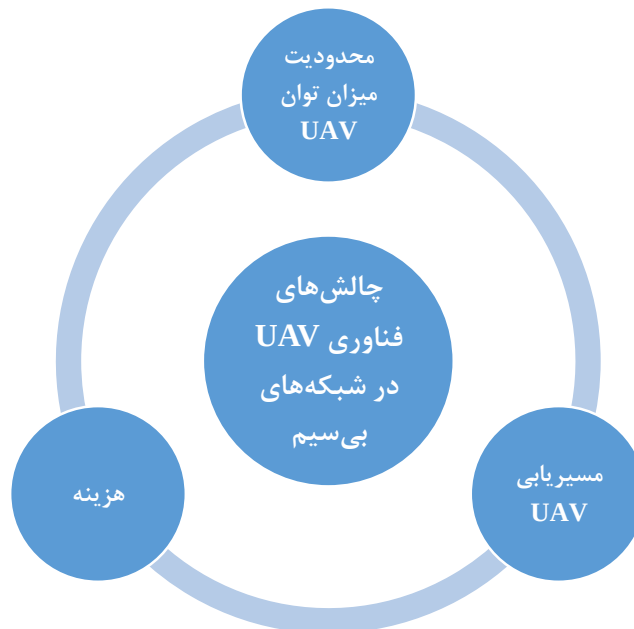
می‌دهد [۹].

۳. مسیریابی UAV: از چالش‌های مهم UAV تعیین مسیر حرکت آن می‌باشد؛ لذا، استفاده از

UAV در شبکه‌های بی سیم نیازمند یک استراتژی بهینه برای تعیین مسیر حرکت UAV

می‌باشد. به گونه‌ای که، هم‌زمان انرژی UAV و درخواست کاربران بصورت بهینه در نظر گرفته شود.

شکل ۵-۲ چالش‌های استفاده از فناوری UAV در شبکه‌های بی‌سیم را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲ چالش‌های استفاده از فناوری UAV در شبکه‌های بی‌سیم

۱۱-۲- دسته‌بندی جامع از مسائل بهینه‌سازی طرح شده در حوزه شبکه‌های بی‌سیم با قابلیت

ذخیره‌سازی و استفاده از UAV در شبکه‌های بی‌سیم

در این قسمت، مسائل بهینه‌سازی مطرح شده در حوزه ذخیره‌سازی محتواها در شبکه بی‌سیم و استفاده از UAVها در شبکه‌های بی‌سیم را به صورت کلی از منظر سیستم مدل، تابع هدف، قیود و متغیرهای بهینه‌سازی در نظر گرفته‌شده دسته‌بندی می‌کنیم.

۱۱-۱-۱- سیستم مدل‌های رایج در حوزه شبکه‌های بی‌سیم با UAV و قابلیت ذخیره‌سازی

محتوا

از انواع سیستم مدل‌های رایج در مسائل مربوط به UAV و ذخیره‌سازی محتواها در شبکه‌های بی‌سیم،

می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. شبکه‌های همگون سلولی^۱ [۴۴،۳۱،۱۲]
۲. شبکه‌های ناهمگون و ناهمگون سلولی^۲ [۳۶،۳۱،۲۹،۲۲،۱۹،۱۶،۱۴،۱۲]
۳. شبکه‌های همراه با ارتباط مستقیم کاربر به کاربر با قابلیت ذخیره‌سازی محتوا در کاربران [۴۰،۳۶،۲۲،۲۰]
۴. شبکه‌های تحویل محتوا^۳ با قابلیت ذخیره‌سازی محتواها در گره‌های شبکه^۴ [۴۷،۳۹،۲۹،۲۱]
۵. استفاده از UAVها به عنوان ایستگاه پایه هوایی [۹،۶،۴،۳]
۶. استفاده از UAVها به منظور پیدا کردن کانال‌های پرتراфик و افزایش بهره‌وری آنها [۱۰،۸،۴،۲،۱]
۷. طراحی مدل‌های تخصیص توان و تعیین مسیر برای UAVها در شبکه‌های بی‌سیم [۹،۸،۴،۳]
۸. استفاده از UAVها به منظور پردازش درخواست‌های کاربران [۴]
۹. شبکه‌های اطلاعات - محور^۵ با قابلیت ذخیره‌سازی محتواها در گره‌های شبکه [۴۴].
۱۰. شبکه‌های مبتنی بر ابر^۶، مانند شبکه‌های ابر [۳۳]، و شبکه‌های محاسبه‌ای لبه‌ای موبایل^۷ [۴۰،۳۹].
۱۱. شبکه‌های همراه با رله^۸ با قابلیت ذخیره‌سازی محتوا در رله‌های شبکه [۳۷]
۱۲. شبکه‌های مجازی‌سازی شده^۹ [۴۲،۴۰،۳۸]

^۱ Homogeneous Cellular Networks (HMCNs)

^۲ Heterogeneous Cellular Networks (HCNs)

^۳ Content Delivery Networks (CDNs)

^۴ Node

^۵ Information-Centric Networks (ICNs)

^۶ Cloud-Based Networks

^۷ Mobile Edge Computing (MEC) Networks

^۸ Relay-Assisted Networks

^۹ Virtualized Networks

۱۳. شبکه نرم‌افزاری تعریف شده^۱ [۴۳،۳۹،۳۷،۳۰]

۱۴. شبکه‌های مبتنی بر ارسال چند نقطه‌ای هماهنگ [۴۷،۲۴،۱۵،۱۳،۱۲]

۱۵. شبکه‌های مبتنی بر فناوری ارسال چند فرستنده - چندگیرنده^۲ [۴۲،۴۴،۱۴]

۱۶. شبکه‌های مبتنی بر فناوری موج‌های میلیمتری^۳ [۵۰]

۱۷. شبکه‌های مبتنی بر فناوری‌های دسترسی چندگانه فرکانسی متعامد، [۳۹،۳۷،۲۳] و

دسترسی چندگانه نامتعامد^۴ همراه با حذف موفق تداخل^۵ [۵۰]

۱۸. شبکه‌های مبتنی بر فناوری ارسال یک به چند [۳۶،۳۴]

۱۹. شبکه‌های دسترسی رادیویی مبتنی بر ذخیره‌سازی و تبدیل کیفیت‌های مختلف ویدئویی

با نرخ بیت‌های مختلف^۶ [۴۳،۴۱،۴۰]

۲۰. شبکه‌های دسترسی رادیویی متصل به لینک‌های فرانت‌هال یا بک‌هال ظرفیت - محدود^۷

[۳۹،۳۶،۲۴،۲۲،۲۰]

شکل ۲-۶ انواع سیستم مدل‌های رایج در مسائل مربوط به UAVها و ذخیره‌سازی محتواها در

شبکه‌های بی‌سیم را نشان می‌دهد.

^۱ Software Defined Network (SDN)

^۲ Multiple-Inputs-Multiple-Outputs (MIMO)

^۳ Millimeter-Waves (mmWave)

^۴ Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)

^۵ Successful Interference Cancellation (SIC)

^۶ Multi-Bitrate Video Transcoding

^۷ Limited-Capacity



شکل ۲-۶ مدل‌های رایج در مسائل مربوط به UAVها و ذخیره‌سازی

۲-۱۱-۲- متغیرهای بهینه‌سازی رایج در حوزه شبکه‌های بی‌سیم با UAV و قابلیت

ذخیره‌سازی محتوا

از مهم‌ترین متغیرهای بهینه‌سازی رایج در این نوع از مسائل، مکان‌یابی محتواها^۱ می‌باشد [۱۹، ۱۴، ۱۲، ۱۱]. همچنین تعیین مسیر حرکت UAV^۲ها [۹، ۷، ۶، ۳، ۲]، میزان هزینه و بهره‌وری سیستم برای فراهم‌آوردن گران سرویس [۲۹، ۲۴، ۷، ۶]، تعداد المان‌های ذخیره‌ساز (چگالی ایستگاه‌های پایه^۳) [۴۸، ۳۵، ۳۴]، تخصیص توان ارسالی^۴ و شکل‌دهی پرتو^۵ [۴۹، ۲۲، ۱۹، ۱۷]، تخصیص پهنای باند^۶

^۱ Content Placement

^۲ Trajectory

^۳ BS Density

^۴ Transmit Power Allocation

^۵ Beamforming

^۶ Bandwidth Allocation

[۳۹،۳۸،۳۱،۹،۷،۲]. تخصیص کاربر^۱ به فرستنده (به طور مثال UAV ها) [۹،۷] و تعیین نحوه فراهم کردن درخواستها یا زمان بندی^۲ [۴۰،۳۱]، از دیگر متغیرهای بهینه سازی در نظر گرفته شده در این نوع از مسائل به شمار می آیند. متغیرهای بهینه سازی در شبکه های بی سیم با UAV و قابلیت ذخیره سازی محتوا در شکل ۲-۵ نشان داده شده است.



شکل ۲-۷ متغیرهای بهینه سازی در شبکه های بی سیم با UAV و قابلیت ذخیره سازی

۲-۱۱-۳- توابع هدف رایج در حوزه شبکه های بی سیم با UAV و قابلیت ذخیره سازی محتوا

از توابع هدف رایج در مسائل بهینه سازی در حوزه شبکه های بی سیم با UAV ها و قابلیت ذخیره سازی محتوا، به کمینه سازی تأخیر دریافت محتواها در کاربران [۲۲،۷،۵،۳،۲]، کمینه سازی هزینه مصرفی شبکه (کم کردن هزینه منابع فیزیکی شبکه) [۳۳،۷]، کمینه سازی ترافیک بکمال و دسترسی رادیویی [۲۲]، بیشینه سازی احتمال وجود محتواها در حافظه^۳ [۴۴،۳۷،۱۴،۹]، بیشینه سازی احتمال تحویل

^۱ User Association

^۲ Scheduling

^۳ Cache Hit Probability

موفق محتوا^۱ [۴۴،۱۴]، بیشینه‌سازی کارایی انرژی شبکه [۳۷،۱۴]، بیشینه‌سازی سود^۲ اپراتورهای شبکه [۳۹،۳۲،۳۰]، نام برد. توابع هدف رایج در مسائل بهینه‌سازی مطرح‌شده در حوزه شبکه‌های بی‌سیم با UAVها و قابلیت ذخیره‌سازی محتواها در شکل ۸-۲ نشان داده شده است.



شکل ۸-۲ توابع هدف رایج در مسائل بهینه‌سازی مطرح‌شده در حوزه شبکه‌های بی‌سیم با UAVها و قابلیت ذخیره‌سازی

۲-۱۱-۴- قیود رایج در حوزه شبکه‌های بی‌سیم با UAV و قابلیت ذخیره‌سازی محتوا

از انواع قیود رایج بکار برده‌شده در حوزه مسائل بهینه‌سازی طرح‌شده در شبکه‌های با UAV و قابلیت ذخیره‌سازی محتواها می‌توان به حداکثر حافظه ذخیره‌سازها [۱۵،۱۷،۱۹،۲۰،۲۱،۳۴،۳۷،۳۸،۴۲،۴۴،۶،۱۱،۱۳]، حداقل احتمال وجود محتواها در حافظه [۴۷]، حداکثر زمان تحویل محتوا^۳ [۹،۲۱،۲۷]، کمینه نرخ موردنیاز^۴ [۱۷،۳۱،۳۸،۴۶]، حداکثر توان ارسالی فرستنده‌ها [۳۳،۲۱،۴۷]، حداکثر پهنای باند رادیویی در دسترس [۱۳،۱۶،۱۷،۲۹]، حداکثر ظرفیت لینک‌های بک‌ها یا فرانت‌ها

^۱ Successful Delivery Probability (SDP)

^۲ Revenue

^۳ Delivery Deadline

^۴ Minimum Required Data Rate

[۳۷،۲۶،۲۳،۲۲،۷،۶،۵]، حداقل فاصله بین UAV ها [۸،۷،۵،۴،۲]، حداکثر فاصله پروازی UAV ها [۸،۶] اشاره نمود. قیود رایج در مسائل مطرح شده در حوزه شبکه‌های بی‌سیم با UAV ها و قابلیت ذخیره‌سازی محتوا در شکل ۷-۲ نشان داده شده است.



شکل ۹-۲ قیود رایج در مسائل مطرح شده در حوزه شبکه‌های بی‌سیم با UAV ها و قابلیت ذخیره‌سازی

۱۲-۲- مروری بر کارهای انجام شده در حوزه شبکه‌های بی‌سیم با قابلیت ذخیره‌سازی و استفاده از UAV در شبکه‌های بی‌سیم

در این قسمت، کارهای انجام شده در حوزه شبکه‌های بی‌سیم با UAV ها و قابلیت ذخیره‌سازی را بررسی می‌کنیم. در حالت کلی کارهای انجام شده در این حوزه به دودسته تقسیم می‌شوند:

۱. در دسته اول، هدف طراحی یک الگوریتم کارای تحویل محتوا بر اساس مکان مشخص محتواها در حافظه‌ها در طول فاز زمانی تحویل می‌باشد. در این فاز زمانی، کارهای انجام شده به دو دسته کوچک‌تر تقسیم‌بندی می‌شوند. در دسته اول تنها، تنها هدف طراحی یک استراتژی کارا برای ارسال محتواهای ذخیره شده و ذخیره نشده به کاربران انتهایی شبکه می‌باشد، در حالیکه در دسته دوم، حافظه ذخیره‌سازها پس از انتهایی هر تحویل محتوا شرایط موجود بودن آن محتوا

در حافظه به روزرسانی می گردند (مدل ذخیره سازی online) [۳۶،۲۹،۲۷،۱۹].

۲. در دسته دوم، هدف طراحی استراتژی ذخیره سازی محتوا در فاز ذخیره سازی با هدف افزایش کارایی تحویل محتوا در فاز تحویل می باشد (مدل ذخیره سازی offline). این نوع از مدل های ذخیره سازی، بر اساس اطلاعات موجود در کنترل کننده شبکه، به دو دسته کوچک تر تقسیم بندی می گردند. در دسته اول، یک ذخیره سازی با توجه به نوع مدل ذخیره سازی انتخاب شده (به طور مثال همیار یا غیرهمیار) تنها بر مبنای محبوبیت محتواها در شبکه طراحی می شود. در دسته دوم، استراتژی ذخیره سازی offline محتوا با در نظر گرفتن نحوه ارسال محتواها، شرایط کانال و سایر استراتژی های تحویل طراحی می شوند [۲۶،۱۴،۱۲].

از آنجایی که هدف این پایان نامه، طراحی الگوریتم ذخیره سازی online در UAV ها می باشد در ادامه، ابتدا به کارهای انجام شده در حوزه طراحی استراتژی های ذخیره سازی آنلاین می پردازیم. سپس به جزئیات کارهای انجام شده در حوزه شبکه های بی سیم با UAV ها می پردازیم.

۲-۱۲-۱- کارهای انجام شده در حوزه طراحی الگوریتم های ذخیره سازی محتواها و UAV ها

در طراحی الگوریتم های ذخیره سازی، تحقیقات زیادی در مدل های مختلف ذخیره سازی در شبکه های مختلف صورت گرفته است [۳۶،۳۳،۳۱،۲۹،۲۸،۲۶،۲۱،۲۰،۱۹،۱۷،۱۳،۱۲،۶]. در [۱۲]، یک ذخیره سازی در ایستگاه پایه و کاربران در یک شبکه نسل چهارم با در نظر گرفتن ارتباط مستقیم کاربران با هدف کمینه کردن ترافیک های دسترسی و بکال جهت تحویل محتواها به کاربران انجام شده است. در [۹]، یک الگوریتم ذخیره سازی در ایستگاه های پایه کوچک بر مبنای ثابت بودن اطلاعات وضعیت کانال، سیگنال به نویز دریافتی کاربران و استراتژی توان ارسالی در یک شبکه سلولی ناهمگون با هدف کمینه کردن تأخیر میانگین کاربران در شبکه صورت گرفته است. در [۲]، یک الگوریتم ذخیره سازی در یک شبکه دسترسی مه با هدف کمینه کردن تأخیر میانگین کاربران طرح شده است. در این کار، فرض بر این است که در یک دوره زمانی ارسال، اطلاعات وضعیت کانال ها متغیر بوده و لذا، تأخیر

به دست آمده به صورت میانگین تأخیرهای دوره‌های زمانی کوچک می‌باشد. در [۳۲]، یک الگوریتم ذخیره‌سازی و تخصیص کاربر به صورت توام یا در نظر گرفتن میزان تأخیر بکمال با هدف کمینه کردن تأخیر دریافت محتواها از سوی کاربران در شبکه بی‌سیم انجام شده است. در [۱] یک سلول شامل ایستگاه پایه ماکرو، ایستگاه‌های پایه پیکو و UAVها می‌باشد که با افزودن قابلیت ذخیره‌سازی به UAVها به منظور کمک به ایستگاه‌های پایه به دلیل محدودیت حافظه ذخیره‌سازی و ظرفیت کانال بکمال مورد استفاده قرار گرفته است. در [۱۱] با در نظر گرفتن حافظه ذخیره‌سازی محتوا برای UAV و پیش‌بینی الگوی حرکتی کاربران و توزیع درخواست محتواهای آنها نحوه ذخیره‌سازی محتوا و توان ارسال از UAV را بهینه کرده‌اند. در [۲] طراحی مدل‌های تخصیص توان و تعیین مسیر برای UAVها در شبکه‌های ارتباط بی‌سیم به منظور افزایش پوشش و بهره‌وری طیفی مورد بررسی قرار گرفته است. در [۵]، UAV به صورت فعال کانال‌های شلوغ و پرتراфик را پیدا کرده و سرویس‌دهی را در این کانال‌ها به منظور افزایش کیفیت سرویس به کاربران دنبال می‌کند. در [۳] شبکه‌ای متشکل از تعدادی کاربران زمینی و یک ابر رایانه محاسبات نصب شده بر UAV که در ارتفاع مشخصی قرار دارد و با جابه‌جایی بسیار کم در مقیاس زمانی کوتاه می‌چرخد. در آن بخشی از پردازش‌های مربوط به کاربران به وسیله UAV به منظور مصرف بهینه انرژی انجام می‌گیرد. در [۴] نویسندگان انتقال داده‌های فروسو در شبکه‌های بی‌سیم بکمال با استفاده از فناوری دسترسی چندگانه نا متعامد (NOMA)^۱ زمانی که UAVها به عنوان ایستگاه‌های پایه کوچک سلولی در حال پرواز می‌باشند مورد بررسی قرار داده‌اند.

^۱ Non Orthogonal Multiple Access

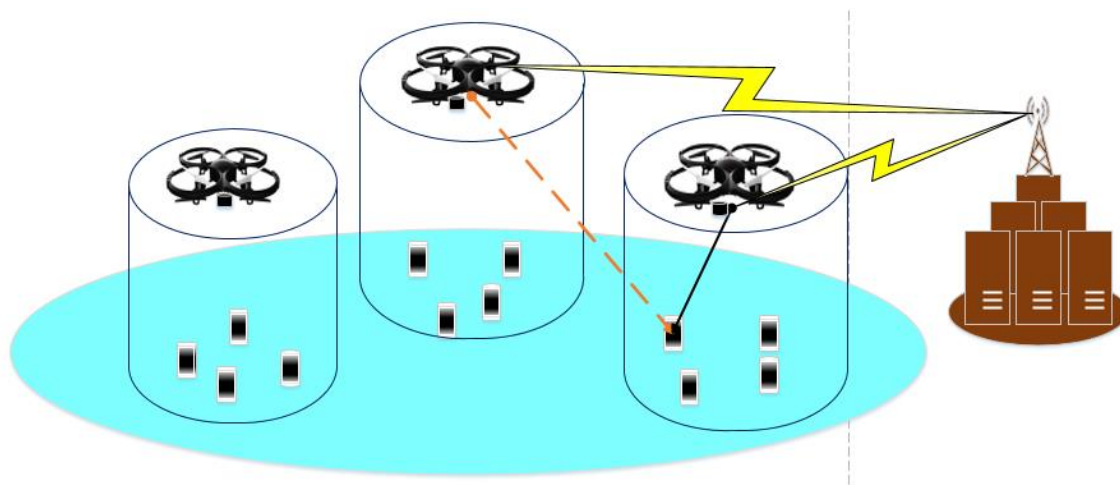
فصل سوم : الگوریتم پیشنهادی

۳-۱- مقدمه

در این فصل، به بررسی مدل در نظر گرفته شده می پردازیم. در سیستم مدل در نظر گرفته شده، یک مسئله بهینه سازی طرح کرده و الگوریتم حل مسئله نیز در ادامه پیشنهاد می شود. همچنین به بررسی پیچیدگی محاسباتی حل الگوریتم پیشنهادی و اثبات همگرایی آن می پردازیم. در انتها نیز با استفاده از نتایج شبیه سازی، کارایی الگوریتم پیشنهادی را بررسی می کنیم.

۳-۲- تعریف مسئله

سیستم در نظر گرفته شده یک شبکه ناهمگون شامل یک مرکز داده، K ایستگاه پایه هوایی (UAV) که از طریق لینک های بی سیم Fronthaul به مرکز داده متصل شده اند. همچنین در این سیستم همه UAV ها دارای قابلیت ذخیره سازی محدود می باشند. مجموعه کاربران UAV، k ام (تعداد کاربرانی که به UAV، k ام تخصیص داده شده اند) با U_k نمایش داده می شود. نمای کلی سیستم در نظر گرفته شده در شکل ۳-۱ قابل مشاهده می باشد.



شکل ۳-۱ نمای کلی سیستم

فرض کنید که C عدد محتوا در شبکه وجود دارد. مجموعه محتواها با $C = \{1, 2, 3, \dots, C\}$ بیان

می‌شود. اندازه‌ی محتوای c را با S_c نشان می‌دهیم که با توزیع لاگنرمال^۱ مدل می‌شود، یعنی $S_c \sim \ln N(\mu_s, \sigma_s^2)$ که در آن μ_s میانگین و σ_s^2 واریانس^۲ توزیع لاگنرمال است. محبوبیت محتواها میان کاربران یکسان فرض می‌شود که مانند بسیاری از کارهای پیشین [۲۲، ۲۰، ۱۵، ۱۳، ۶]، با توزیع Zipf مدل می‌شود. بنابراین احتمال درخواست محتوای c ، یعنی محتوای مرتبه c از نظر محبوبیت، به صورت $Pr_c = \frac{1/c^\xi}{\sum_{c \in C} 1/c^\xi}$ به دست می‌آید. که در آن ξ پارامتر توزیع Zipf می‌باشد و عدم تقارن توزیع را تنظیم می‌کند. در این سیستم مکان UAV، k ام در لحظه t را با $A_{t,k} = (x_k, y_k, h)$ نشان می‌دهیم که در آن x_k و y_k بعد افقی و h بعد عمودی (ارتفاع) UAV، k ام است. در این سیستم ما فرض کرده‌ایم که ارتفاع UAVها ثابت می‌باشد. همچنین مکان مرکز داده و کاربران مربوط به هر UAV را ثابت فرض می‌کنیم و به ترتیب با A_u و A_D نشان می‌دهیم. فرض کنید M_k^{max} میزان ظرفیت حافظه‌ی UAV، k ام باشد. همچنین فرض می‌شود که مرکز داده همه‌ی محتواها را در اختیار دارد.

در سیستم در نظر گرفته شده، ذخیره‌سازی در یک بازه زمانی بلندمدت تکرار می‌شود به گونه‌ای که هر UAV در ابتدای شروع به کاربر اساس هر دو پارامتر PAI محتواها و CDI کانال‌های بی‌سیم دسترسی و بک‌هال ذخیره‌سازی را انجام می‌دهد. همچنین ما در این سیستم مدل فرض می‌کنیم که هنگام ذخیره‌سازی محتواها هیچ درخواستی از کاربران دریافت نمی‌شود. بعد از درخواست کاربران برای درخواست محتوا در انتهای بازه زمانی یاد شده، حافظه ذخیره‌سازی به‌روزرسانی می‌شود. در فاز ذخیره‌سازی یک استراتژی ذخیره‌سازی با مکان‌یابی ذخیره محتواها در ایستگاه‌های پایه هوایی و تخصیص منابع رادیویی لینک‌های دسترسی و Fronthaul طرح می‌کنیم.

فرض کنید که $I_{c,k} \in \{1, 0\}$ متغیر باینری مکان‌یابی محتوا باشد، به طوری که اگر محتوای c در حافظه‌ی UAV، k ام ذخیره شده باشد $I_{c,k} = 1$ ، در غیر این صورت $I_{c,k} = 0$ است. در فاز تحویل محتوا، در ابتدای هر دوره زمانی، UAVها درخواست‌های کاربران خود را دریافت می‌کنند اگر محتوای

^۱ Log-Normal Distribution

^۲ Variance

درخواستی کاربر در حافظه UAV موجود باشد، فوراً از UAV به کاربر ارسال می‌شود. در غیر این صورت آن را از مرکز داده می‌گیرد و به کاربر تحویل می‌دهد.

پهنای باند فرکانسی کانال‌های دسترسی و Fronthaul با W نشان داده می‌شوند. کانال دسترسی و Fronthaul پهنای باند فرکانسی، به N تکه کوچکتر تقسیم می‌شوند که به هر تکه یک زیر حامل گفته می‌شود. متغیر باینری تخصیص زیرحامل از UAV، k ام به کاربر u با نماد $\delta_{k,u}^n$ نشان داده می‌شود: اگر زیرحامل n از UAV، k ام به کاربر u تخصیص داده شده باشد $\delta_{k,u}^n = 1$ در غیر این صورت $\delta_{k,u}^n = 0$ می‌باشد. بهره توان کانال از UAV، k ام به کاربر u در زیر حامل n با $h_{k,u}^n$ نشان داده می‌شود. $P_{k,u}^n$ توان ارسالی از UAV، k ام به کاربر u در زیر حامل n است. متغیر باینری تخصیص زیر حامل از مرکز داده به UAV، k ام با نماد ζ_k^n نشان داده می‌شود: اگر زیر حامل n به UAV، k ام تخصیص داده شده باشد $\zeta_k^n = 1$ در غیر این صورت $\zeta_k^n = 0$ می‌باشد. بهره توان کانال از مرکز داده به UAV، k ام در زیر حامل n با g_k^n نشان داده می‌شود. q_k^n توان ارسالی از مرکز داده به UAV، k ام در زیر حامل n است. از این رو نرخ داده لحظه‌ای دریافتی کاربر u روی هر زیرحامل n با $r_{k,u}^n$ و نرخ داده لحظه‌ای UAV، k ام روی زیر حامل n را با r_k^n نشان می‌دهیم.

در سیستم مدل در نظر گرفته شده افت مسیر، در مسیرهای با دید مستقیم (LOS)^۱ و مسیرهای با دید غیرمستقیم (NLOS)^۲ به صورت زیر فرمول‌بندی می‌شود:

$$l_{ku}^{LoS}(A_k, A_u) = L_{FS}(d_0) + 10\mu_{LoS} \log(d_{t,ku}) + X_{\sigma_{LoS}} \quad (۱-۳)$$

$$l_{ku}^{NLoS}(A_k, A_u) = L_{FS}(d_0) + 10\mu_{NLoS} \log(d_{t,ku}) + X_{\sigma_{NLoS}} \quad (۲-۳)$$

که در آن $L_{FS}(d_0) = 20\log(4\pi f_c d_0/c)$ ، افت مسیر فضای آزاد می‌باشد که f_c فرکانس زیرحامل و c سرعت نور است. $X_{\sigma_{NLoS}}$ و $X_{\sigma_{LoS}}$ اثر سایه افکنی است که با توزیع گوسی با میانگین صفر و واریانس σ_{NLoS} و σ_{LoS} است. همچنین d_{ku} فاصله بین کاربر u و UAV، k ام می‌باشد. در مدل ما

^۱ Line Of Sight

^۲ Non Line Of Sight

احتمال ارتباط به صورت LoS بین کاربر u و UAV، k ، به محیط، مکان کاربر، مکان UAV و زاویه بین کاربر و UAV بستگی دارد [۳،۵] که به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\Pr(l_{t,ku}^{LoS}) = \frac{1}{1 + X \exp(-Y[\theta_t - X])} \quad (۳-۳)$$

که در آن مقدار X و Y به ثابت‌هایی هستند که به محیط بستگی دارند و مقدار $\theta_t = \sin^{-1}(\frac{h}{d_{t,ku}})$

می‌باشد. در نهایت مقدار متوسط path loss به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} \bar{l}_{ku}(A_k, A_u) &= l_{t,ku}^{LoS}(A_k, A_u) \times \Pr(l_{ku}^{LoS}) \\ &+ l_{ku}^{NLoS}(A_k, A_{t,u}) \times \Pr(l_{ku}^{NLoS}) \end{aligned} \quad (۴-۳)$$

که در آن $\Pr(l_{ku}^{NLoS}) = 1 - \Pr(l_{t,ku}^{LoS})$ است. لذا مقدار $h_{k,u}^n$ برابر است با:

$$h_{k,u}^n = 10^{-\frac{\bar{l}_{t,ku}(A_k, A_u)}{10}} \quad (۵-۳)$$

از این رو مقدار متوسط سیگنال به نویز تداخل کاربر u مربوط به UAV، k در زیر حامل n است با:

$$\gamma_{k,u}^n = \frac{P_{k,u}^n h_{k,u}^n}{(\sigma_{b,u}^n + \sum_{i \in K/\{k\}} \sum_{j \in U_i} h_{i,u}^n p_{i,j}^n + \sum_{i \in K/k} h_u^n q_i^n)} \quad (۶-۳)$$

که در آن $\sigma_{b,u}^n$ توان نویز سفید گوسی جمع شونده دریافتی در کاربر $u \in U_u$ روی زیر حامل n

است. همچنین $\sum_{i \in K/\{k\}} \sum_{j \in U_i} h_{i,u}^n p_{i,j}^n + \sum_{i \in K} h_u^n q_i^n$ توان سیگنال تداخل دریافتی در کاربر U_k

روی زیرحامل n است. که در آن بهره توان کانال از UAV، U_k به کاربر $u \in U_u$ روی زیرحامل

n می‌باشد و h_u^n بهره توان کانال از مرکز داده به کاربر $u \in U_k$ روی زیرحامل n می‌باشد.

از آنجاکه پهنای باند هر زیر حامل کاربر مربوط به UAV برابر با $\frac{W}{N}$ است، نرخ دریافتی لحظه‌ای کاربر

u بر روی زیر حامل n به صورت زیر فرمول بندی می‌گردد:

$$r_{k,u}^n = \frac{W}{N} \log(1 + \gamma_{k,u}^n) \quad (۷-۳)$$

از این رو نرخ داده لحظه‌ای در کاربر u به صورت $r_{k,u}^n = \sum_{n \in N} \delta_{k,u}^n r_{k,u}^n$ محاسبه می‌شود.

همچنین برای لینک بین مرکز داده و UAV برای به دست آوردن سیگنال به نویز و ظرفیت نیز

مشابه بالا داریم:

$$l_k^{LoS}(A_k, A_D) = d_{kD}^{-\alpha} \quad (۸-۳)$$

$$l_k^{NLoS}(A_k, A_D) = \eta d_{kD}^{-\alpha} \quad (۹-۳)$$

که در آن مکان مرکز داده و α نیز بیانگر path loss exponent است. از اینرو احتمال ارتباط به صورت LoS بین UAV، k ام و مرکز داده به محیط، مکان مرکز داده، مکان UAV و زاویه بین مرکز داده و UAV بستگی دارد که به صورت زیر نشان داده می‌شود [۳، ۸]:

$$\Pr(l_k^{LoS}) = \frac{1}{1 + \text{Xexp}(-Y[\alpha_t - X])} \quad (۱۰-۳)$$

در نهایت مقدار متوسط path loss مربوط به لینک مرکز داده و UAV، k ام به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{l}_k(A_k, A_D) = l_k^{LoS}(A_k, A_D) \times \Pr(l_k^{LoS}) + l_k^{NLoS}(A_k, A_D) \times \Pr(l_k^{NLoS}) \quad (۱۱-۳)$$

که در آن $\Pr(l_k^{NLoS}) = 1 - \Pr(l_k^{LoS})$ است. لذا مقدار $h_{k,u}^n$ برابر است با:

$$g_k^n = 10^{\frac{\bar{l}_{ku}(A_k, A_D)}{10}} \quad (۱۲-۳)$$

از اینرو مقدار متوسط سیگنال به نویز تداخل UAV، k ام در زیر حامل n برابر است با:

$$\varphi_k^n = \frac{q_k^n g_k^n}{(\sigma_k^n + \sum_{i \in K} \sum_{j \in U_i} h_{i,j}^n p_{i,j}^n)} \quad (۱۳-۳)$$

که در آن σ_k^n توان نویز سفید گوسی جمع شونده دریافتی در UAV، k ام در زیر حامل n است.

$\sum_{i \in K} \sum_{j \in U_i} h_{i,j}^n p_{i,j}^n$ توان سیگنال تداخل دریافتی در UAV، k ام روی زیرحامل n است. که در آن $h_{i,j}^n$ بهره توان کانال UAV، i ام به کاربر j ام در زیر حامل n است.

از آنجاکه پهنای باند هر زیر حامل از مرکز داده به UAV برابر با $\frac{W}{N}$ است، نرخ دریافتی لحظه‌ای

UAV، k ام بر روی زیر حامل n به صورت زیر فرمول بندی می‌گردد:

$$R_k^n = \frac{W}{N} \log(1 + \varphi_k^n) \quad (۱۴-۳)$$

از اینرو نرخ داده لحظه‌ای در UAV، k ام به صورت $R_k = \sum_{n \in N} \zeta_k^n r_k^n$ است.

در فاز ذخیره‌سازی زمانی از آنجائیکه تنها پارامترهای کنترل کننده مرکزی PDI و CDI می‌باشند،

در ابتدا نرخ میانگین یا ارگادیک کاربران و ایستگاه‌های پایه را به ترتیب از روابط $R_k = E_h \{R_k\}$ و $r_{k,u} = E_h \{r_{k,u}\}$ بدست می‌آوریم که بیانگر نرخ داده ارگادیک دریافتی در به‌ترتیب کاربر u و UAV، k می‌باشند. توجه داشته باشید که حتی زمانی که در هر دوره زمانی کوچک محوشوندگی کانال‌ها از نوع محوشوندگی آرام باشند، باز هم $r_{k,u}$ و R_k بیانگر نرخ داده میانگین یا ارگادیک می‌باشند، زیرا تنها بر اساس CDI کانال‌های بی‌سیم فرمول بندی شده‌اند. با این تفاسیر تأخیر میانگین کاربر u برای دریافت یک محتوا در شبکه برابر خواهد بود با:

$$\overline{D_{u,k}} = \sum_{c \in C} Pr_{c,k} \left(\frac{S_c}{r_{k,u}} + (1 - I_{c,k}) \left(\frac{S_c}{\beta_{k,c} R_k} \right) \right) \quad (۱۵-۳)$$

که در آن $\frac{S_c}{r_{k,u}}$ تأخیر میانگین کاربر u برای دریافت محتوای c از UAV، k می‌باشد. همچنین مقدار $(1 - I_{c,k}) \left(\frac{S_c}{\beta_{k,c} R_k} \right)$ تأخیر میانگین UAV، k برای دریافت محتوای c از مرکز داده است. که در آن $\beta_{k,c}$ مقداری بین صفر و یک دارد و به‌عنوان کسری از نرخ داده دریافتی در UAV، k می‌باشد که مختص ارسال محتوای c می‌باشد تعریف می‌کنیم. و به این دلیل آورده شده چون ممکن است هر UAV به طور همزمان چندین محتوا را از مرکز داده درخواست کند.

که Pr_c نشان دهنده‌ی احتمال درخواست محتوای c می‌باشد از این‌رو داریم:

$$\sum_{c \in C} Pr_c = 1. \quad (۱۶-۳)$$

در این سیستم، یک قید بیشینه تأخیر مجاز برای ارسال تمامی محتواهای درخواستی کاربران در شبکه در نظر گرفته می‌شود تا اطمینان حاصل شود که محتواهای درخواستی با اندازه‌های متفاوت در فاز زمانی تحویل محتوا درون دوره زمانی کوچک به طور موفق فراهم می‌گردند.

ما قیدهای مربوط به مسیریابی UAV را با توجه به مکان لحظه‌ای UAV، k مشخص می‌کنیم. همچنین با توجه به اینکه h_T را مینیمم واریانس ارتفاع‌های مربوط به UAV تعریف می‌کنیم یک قید به منظور اجتناب از برخورد UAVها نیز تعریف می‌کنیم $[۵,۷,۱۰]$.

$$\min_{P, \beta, I, \Delta, \zeta, A} \sum_{k \in K} \sum_{u \in U_k} \sum_{n \in N} p_{k,u}^n \quad (17-3 \text{ آ})$$

$$s. t. \sum_{c \in C} S_c I_{k,c} < M_k^{max}, \forall k \in K \quad (17-3 \text{ ب})$$

$$\bar{D} \leq D_{min}, \forall k \in K, \forall u \in U_k \quad (17-3 \text{ ت})$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{n \in N} q_k^n \leq q_{max} \quad (17-3 \text{ ث})$$

$$\sum_{u \in U_k} \delta_{k,u}^n \leq 1, \forall n \in N, \quad \forall k \in K \quad (17-3 \text{ ج})$$

$$\sum_{k \in K} \zeta_k^n \leq 1, \forall n \in N \quad (17-3 \text{ د})$$

$$\delta_{k,u}^n, \zeta_k^n \in \{0,1\} \quad (17-3 \text{ ر})$$

$$I_{k,c} \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, c \in C \quad (17-3 \text{ س})$$

$$\|A_i - A_{i0}\| \leq A_T \quad \forall k \in K \quad (17-3 \text{ ط})$$

$$\|A_i - A_j\| \geq d_{min} \quad i, j \in K, i \neq j \quad (17-3 \text{ ع})$$

که در آن، قید (17-3 ب) محدودیت ظرفیت حافظه ذخیره‌سازی در هر ایستگاه پایه، قید (17-3 ت) حداکثر تأخیر مجاز در هر کاربر، قیود (17-3 ج) و (17-3 د) مربوط به تخصیص زیرحامل با استفاده از فناوری دسترسی چندگانه متعامد فرکانسی هستند که هر زیر حامل تنها به یک گیرنده می‌تواند تخصیص داده شود. قید (17-3 ط) بیانگر اختلاف مکان هر UAV در ابتدا و انتهای هر دوره زمانی می‌باشد. (17-3 ع) قید مربوط به عدم برخورد UAVها می‌باشد.

از آنجایی که $\overline{D_{u,k}}$ یک تابع کسری از متغیرهای مسئله می‌باشد و همچنین مسئله شامل قیدهایی گسسته می‌باشد. بنابراین مسئله (17-3) یک برنامه‌ریزی ترکیبی کسری^۱ می‌باشد [۳، ۵]. برای مقابله با غیر محدب بودن این تابع در مرحله اول از روش اپی‌گراف^۲ استفاده می‌کنیم تا شکل کسری مسئله را از بین ببریم. ابتدا دو متغیر $x_{k,u}^c$ و x_k^c را تعریف می‌کنیم به طوریکه:

^۱ Fractional combination

^۲ AP Graph

$$\frac{S_c}{r_{k,u}} \leq \frac{1}{x_{k,u}^c} \quad (۱۸-۳)$$

$$(1 - I_{c,k}) \left(\frac{S_c}{\beta_{k,c} R_k} \right) \leq \frac{1}{x_k^c} \quad (۱۹-۳)$$

که جمله ی $\frac{1}{x_{k,u}^c}$ باند بالای تأخیر کانال دسترسی کاربر $u \in U_k$ جهت دریافت محتوای c می باشد

و $\frac{1}{x_k^c}$ باند بالای تأخیر میانگین UAV، $k \in \mathcal{K}$ جهت دریافت محتوای c از مرکز داده است.

با جای گذاری (۱۸-۳) و (۱۹-۳) در (۱۵-۳) داریم:

$$\sum_{c \in \mathcal{C}} Pr_{u,c} \left(\frac{1}{x_{k,u}^c} + \frac{1}{x_k^c} \right) < D_{min} \quad \forall k \in K, \forall u \in U_k \quad (۲۰-۳)$$

برای مقابله با جملات کسری $\frac{1}{x_k^c}$ و $\frac{1}{x_{k,u}^c}$ در (۱۸-۳) متغیرهای $\tilde{x}_k^c$ و $\tilde{x}_{k,u}^c$ را تعریف می کنیم به

طوری که داشته باشیم:

$$\frac{1}{x_{k,u}^c} \leq \tilde{x}_{k,u}^c \quad (۲۱-۳)$$

$$\frac{1}{x_k^c} \leq \tilde{x}_k^c \quad (۲۲-۳)$$

که $\tilde{x}_k^c$ و $\tilde{x}_{k,u}^c$ باند بالای جملات $\frac{1}{x_k^c}$ و $\frac{1}{x_{k,u}^c}$ می باشند. لذا قید مربوط به تأخیر میانگین (۱۷-۳)

به صورت $\sum_{c \in \mathcal{C}} Pr_{u,c} (\tilde{x}_{k,u}^c + \tilde{x}_k^c) < D_{min}$ تبدیل می شود. از طرفی قیدهای $\tilde{x}_{k,u}^c$ و $\frac{1}{x_{k,u}^c} \leq \tilde{x}_{k,u}^c$ و $\frac{1}{x_k^c} \leq \tilde{x}_k^c$

$\tilde{x}_k^c$ را می توان با لگاریتم گیری از طرفین به شکل محدب غیرخطی تبدیل کرد:

$$\ln(\tilde{x}_{k,u}^c) + \ln(x_{k,u}^c) \geq 0 \quad \forall k \in K, \forall u \in U_k, \forall c \in \mathcal{C} \quad (۲۳-۳)$$

$$\ln(\tilde{x}_k^c) + \ln(x_k^c) \geq 0 \quad \forall k \in K, \forall u \in U_k, \forall c \in \mathcal{C} \quad (۲۴-۳)$$

اگر $x = [x_{k,u}^c, x_k^c]$ و $\tilde{x} = [\tilde{x}_{k,u}^c, \tilde{x}_k^c]$ باشد. معادل مسئله (۱۷-۳) در (۲۴-۳) بیان می شود.

$$\min_{P, \beta, I, \Delta, \zeta, A, x, \tilde{x}} \sum_{k \in K} \sum_{u \in U_k} \sum_{n \in N} p_{k,u}^n \quad (\bar{A} \ ۲۵-۳)$$

$$s. t. \sum_{c \in \mathcal{C}} S_c I_{k,c} < M_k^{max}, \forall k \in K \quad (B \ ۲۵-۳)$$

$$\sum_n \delta_{k,u}^n r_{k,u}^n \geq S_c x_{k,u}^c \quad (پ ۲۵-۳)$$

$$\beta_{k,c} \sum_n \zeta_k^n R_k^n \geq (1 - I_{c,k}) S_c x_k^c \quad (ت ۲۵-۳)$$

$$\sum_{c \in C} Pr_{u,c}(\tilde{x}_{k,u}^c + \tilde{x}_k^c) < D_{min} \quad \forall k \in K, \forall u \in U_k \quad (ث ۲۵-۳)$$

$$\ln(\tilde{x}_{k,u}^c) + \ln(x_{k,u}^c) \geq 0 \quad \forall k \in K, \forall u \in U_k, \forall c \in C \quad (ج ۲۵-۳)$$

$$\ln(\tilde{x}_k^c) + \ln(x_k^c) \geq 0 \quad \forall k \in K, \forall u \in U_k, \forall c \in C \quad (چ ۲۵-۳)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{n \in N} q_k^n \leq q_{max} \quad (ح ۲۵-۳)$$

$$\sum_{u \in U_k} \delta_{k,u}^n \leq 1, \forall n \in N, \quad \forall k \in K \quad (خ ۲۵-۳)$$

$$\sum_{k \in K} \zeta_k^n \leq 1, \forall n \in N \quad (د ۲۵-۳)$$

$$\delta_{k,u}^n, \zeta_k^n \in \{0,1\} \quad (ذ ۲۵-۳)$$

$$I_{k,c} \in \{0,1\} \quad (ر ۲۵-۳)$$

$$\|A_i - A_{i0}\| \leq A_T \quad \forall k \in K \quad i \in K \quad (ز ۲۵-۳)$$

$$\|A_i - A_j\| \geq d_{min} \quad i, j \in K, i \neq j \quad (ژ ۲۵-۳)$$

۳-۳- حل مسئله بهینه‌سازی پیشنهادی

در این قسمت، هدف حل مسئله بهینه‌سازی طرح شده در (۲۵-۳) می‌باشد. در ادامه الگوریتم حل

طرح‌شده برای مسئله ذکرشده توضیح داده می‌شود.

هدف ارائه یک روش حل برای مسئله بهینه‌سازی (۲۵-۳) می‌باشد که خروجی آن، تعیین یک

استراتژی کارای ذخیره‌سازی محتوا می‌باشد. مسئله بهینه‌سازی (۲۵-۳) یک برنامه‌ریزی غیرخطی با

متغیرهای پیوسته و گسسته می‌باشد و به نظر می‌رسد که از نوع مسائل حل‌نشده^۱ و hard-Np است؛

^۱ Intractable

لذا، یافتن یک جواب بهینه برای (۲۵-۳) با ابعاد بزرگ امری بسیار سخت می‌باشد که نیاز به یک الگوریتم با پیچیدگی بسیار بالایی دارد [۷،۸،۱۰،۱۶]. بنابراین، ما یک الگوریتم کارای زیربهینه با پیچیدگی به نسبت پایین‌تر ارائه می‌دهیم و نشان می‌دهیم الگوریتم طرح‌شده به یک جواب بهینه محلی همگرا می‌شود. در الگوریتم پیشنهادی، هدف تبدیل مسئله (۲۵-۳) به یک مسئله محدب می‌باشد. از آنجائیکه نمی‌توان بصورت مستقیم مسئله (۲۵-۳) به یک مسئله محدب تبدیل کرد و حتی تقریب زد، مانند بسیاری از کارهای پیشین در حوزه مسائل hard-Np، مسئله (۲۵-۳) را در ابتدا به چهار زیرمسئله تقسیم‌بندی می‌کنیم. الگوریتم پیشنهادشده از نوع روش‌های تکرارشونده^۱ مطرح شده می‌باشد که در آن، در هر حلقه تکرار، دسته متغیرهای (I) ، (δ, ξ) ، و (P) و (x_k, y_k) به‌دست می‌آیند. به‌طور خاص، در ابتدا یک مقداردهی اولیه برای مسئله (۲۵-۳) بدست می‌آوریم. سپس، در هر حلقه تکرار، در مرحله اول (I) را با حل مسئله (۲۵-۳) به ازای مقادیر ثابت (δ, ξ) ، (P) و (x_k, y_k) به‌دست می‌آوریم. مرحله دوم، متغیر بدست آمده از مرحله قبل، یعنی (I) ، (P) و (x_k, y_k) را ثابت فرض کرده و مسئله (۲۵-۳) را با هدف یافتن (δ, ξ) حل می‌کنیم. مرحله سوم، متغیرهای بدست آمده از مرحله اول و دوم و همچنین (x_k, y_k) را ثابت فرض کرده و مسئله (۲۵-۳) را با هدف یافتن (P) حل می‌کنیم. مرحله چهارم، متغیرهای بدست آمده از مرحله اول و دوم و سوم را ثابت فرض کرده و مسئله (۲۵-۳) را با هدف یافتن (x_k, y_k) حل می‌کنیم.

الگوریتم تکرارشونده برای حل مسئله (۲۵-۳)

۱: مقداردهی اولیه $P, Q, \beta, \Delta, \zeta, I, A$

۲: تکرار از $t=1$ تا $\emptyset$

۳: یافتن I به ازای مقادیر ثابت $P, Q, \beta, \Delta, \zeta, A, x, \tilde{x}$ از مسئله

۴: یافتن $(P, Q, \beta, x, \tilde{x})$ به ازای مقادیر ثابت Δ, ζ, A, I از مسئله

۴: یافتن (Δ, ζ) با ازای مقادیر ثابت $P, Q, \beta, A, x, \tilde{x}, I$ از مسئله

^۱ Alternative Methods

۵: یافتن (A) با ازای مقادیر ثابت $P, Q, \beta, x, \tilde{x}, \Delta, \zeta, I$ از مسئله

۶: بعد از $\emptyset$ بار تکرار، حلقه متوقف شود.

۳-۳-۱- مقداردهی اولیه

روش تکرارشونده الگوریتم ۱ نیاز به یک مقداردهی اولیه امکان‌پذیر^۱ برای متغیرهای $I_0, \zeta_0, \delta_0, P_0, x_0, y_0$ دارد. برای این منظور، برای یافتن I_0 از الگوریتم ذخیره محبوب‌ترین محتواها با روش CMP استفاده می‌شود، یعنی محبوب‌ترین محتواها را تا جایی که حافظه UAV پر شود ذخیره می‌کنیم. سپس برای P_0 و q_0 از روش یکنواخت یا تخصیص مساوی توان^۲ استفاده می‌کنیم. بنابراین توان روی زیرحامل‌ها بصورت مساوی تقسیم می‌شود. در این راستا خواهیم داشت: $P_{k,u}^n = \frac{P_k^{\max}}{NU_k}, \forall n_{k,u} \in N$ ، $q_k^n = \frac{q_{D,C}^{\max}}{N}, \forall n_k \in N, \forall k \in K$ و $\forall k \in K, \forall u \in U_k$ از آنجایی که محبوبیت محتواها برای همه‌ی کاربران یکسان است، محبوبیت همه‌ی محتواها در UAVها نیز یکسان خواهد بود. لذا برای لینک‌های بک‌ها $\beta_{k,c} = \frac{(1-I_{c,k})Pr_c}{\sum_{c \in C} (1-I_{c,k})Pr_c} \forall c \in C$ قرار می‌دهیم. موقعیت مکانی UAVها، (y_0, x_0) را نیز بصورت دلخواه و با شرایط ایده‌آل در نظر می‌گیریم. برای بدست آوردن تخصیص زیرحامل کانال‌های دسترسی و بک‌ها، یعنی ζ_0 و δ_0 ، بدلیل غیرخطی و گسسته بودن متغیر بهینه‌سازی مسئله، ابتدا I_0, P_0, x_0, y_0, q_0 و β_0 را ثابت فرض کرده و مسئله (۳-۲۵) را با توجه به پیوسته کردن و δ_0 و ζ_0 که در ادامه خواهد آمد حل می‌کنیم.

۳-۳-۲- یافتن I به ازای مقادیر ثابت $P, Q, \beta, \delta, \zeta, y_k, x_k$

برای یافتن I مسئله بهینه‌سازی زیر را حل می‌کنیم:

^۱ Feasible

^۲ Equal Power Allocation (EPA)

$$\min_I \sum_{k \in K} \sum_{u \in U_k} \sum_{n \in N} p_{k,u}^n \quad (3-26 \text{ آ})$$

$$s. t. \sum_{c \in C} S_c I_{k,c} < M_k^{max}, \forall k \in K \quad (3-26 \text{ ب})$$

$$\sum_n \zeta_k^n r_k^n \geq (1 - I_{c,k}) S_c x_k^c \quad (3-26 \text{ پ})$$

$$I_{k,c} \in \{0,1\} \quad (3-26 \text{ ت})$$

که یک مسئله از نوع برنامه‌ریزی محدب مرتب شده با متغیرهای پیوسته و گسسته^۱ می‌باشد و قابل حل با استفاده از نرم‌افزارهای استاندارد حل مسائل MIDCP مانند CVX با حل کننده داخلی MOSEK می‌باشد [۴،۷،۱۷،۱۹]. نرم‌افزار MOSEK می‌تواند برنامه‌ریزی‌های خطی با متغیرهای پیوسته و گسسته^۲، مخروطی^۳ و درجه دوم^۴ را با الگوریتم Branch&bound&cut حل کند [۲۱]. لازم به ذکر است نرم‌افزار MOSEK یک راه حل کارا و مناسب برای حل مسائل خطی از نوع گسسته و یا ترکیبی می‌باشد. در این راستا، نرم‌افزارها و روش‌های دیگری چون الگوریتم Message Passing و نرم‌افزار toolbox-Opti نیز قابل استفاده می‌باشند که دارای پیچیدگی حل به مراتب بیشتری نسبت به نرم‌افزار CVX با حل کننده داخلی MOSEK هستند.

۳-۳-۴- یافتن $P, Q, \beta, x, \tilde{x}$ به ازای مقادیر ثابت δ, ζ, A, I

در این مرحله، هدف یافتن $\tilde{x}, x, \beta, Q, P$ با فرض معلوم بودن متغیرهای δ, ζ, A, I می‌باشد. براس این منظور مسئله بهینه‌سازی زیر را حل می‌کنیم:

$$\min_{P, Q, \beta, x, \tilde{x}} \sum_{k \in K} \sum_{u \in U_k} \sum_{n \in N} p_{k,u}^n \quad (3-27 \text{ آ})$$

$$s. t. \sum_n \delta_{k,u}^n r_{k,u}^n \geq S_c x_{k,u}^c \quad (3-27 \text{ ب})$$

^۱ Mixed-Integer Disciplined Convex Programming (MIDCP)

^۲ Mixed-Integer Linear Programming

^۳ Conic

^۴ Quadratic

$$\beta_{k,c} \sum_n \zeta_k^n R_k^n \geq (1 - I_{c,k}) S_c x_k^c \quad (پ ۲۷-۳)$$

$$\sum_{c \in C} Pr_{u,c}(\tilde{x}_{k,u}^c + \tilde{x}_k^c) < D_{min} \quad \forall k \in K, \forall u \in U_k \quad (ت ۲۷-۳)$$

$$\ln(\tilde{x}_{k,u}^c) + \ln(x_{k,u}^c) \geq 0 \quad \ln \quad \forall k \in K, \forall u \in U_k, \forall c \in C \quad (ث ۲۷-۳)$$

$$\ln(\tilde{x}_k^c) + \ln(x_k^c) \geq 0 \quad \forall k \in K, \forall u \in U_k, \forall c \in C \quad (ج ۲۷-۳)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{n \in N} q_k^n \leq q_{max} \quad (چ ۲۷-۳)$$

$$\sum_{c \in C} \beta_{k,c} \leq 1, \forall k \in K, \quad 0 \leq \beta_{k,c} \leq 1 \quad (ح ۲۷-۳)$$

مسئله (۲۷-۳) یک مسئله غیر محدب از نوع کاملاً hard-NP می‌باشد. قیدهای (۲۷-۳ ب) و (۳-۲۷ پ) مسئله را غیر محدب می‌کند برای حل این مشکل از روش تقریب متوالی محدب^۱ استفاده می‌کنیم. لذا با استفاده از تقریب D.C.^۲ در هر مرحله از تکرار قیدهای (۲۷-۳ ب) و (۲۷-۳ پ) به یک تابع مقعر تقریب زده می‌شود [۷، ۱۰، ۱۳، ۱۴]. سپس مسئله محدب تقریب زده شده را حل می‌کنیم و جواب بهینه آن را می‌یابیم.

برای این منظور $\sum_n \delta_{k,u}^n r_{k,u}^n$ را به صورت تفاضل دو تابع مقعر $f_{k,u}$ و $g_{k,u}$ به صورت

$$\sum_n \delta_{k,u}^n r_{k,u}^n = f_{k,u} - g_{k,u}$$

می‌نویسیم که در آن:

$$f_{k,u} = W_s \log(\sigma_{k,u}^n + \sum_{i \in K/k} \sum_{j \in U_i} \delta_{i,j}^n h_{i,u}^n p_{i,j}^n + \sum_{i \in K} \zeta_i^n h_u^n q_i^n + P_{k,u}^n h_{k,u}^n) \quad (۲۸-۳)$$

$$g_{k,u} = W_s \log(\sigma_{k,u}^n + \sum_{i \in K/k} \sum_{j \in U_i} \delta_{i,j}^n h_{i,u}^n p_{i,j}^n + \sum_{i \in K} \zeta_i^n h_u^n q_i^n) \quad (۲۹-۳)$$

از آنجاکه عبارت $-g_{k,u}(\mathbf{p}, \mathbf{q})$ تابع $r_{k,u}^n$ را غیرمقعر^۳ می‌کند، $g_{k,u}(\mathbf{p}, \mathbf{q})$ را با استفاده از تقریب

مرتبه اول تیلور به صورت زیر به یک جمله نمو خطی^۴ تقریب می‌زنیم:

^۱ Successive Convex Approximation (SCA)

^۲ Difference-of-Two-Concave-Functions (D.C.)

^۳ Nonconcave

^۴ Affine

$$g_{k,u}(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = g_{k,u}(\mathbf{p}[t-1], \mathbf{q}[t-1]) + \nabla g_{k,u}^T(\mathbf{p}[t-1], \mathbf{q}[t-1]) * ((\mathbf{p}, \mathbf{q}) - (\mathbf{p}[t-1], \mathbf{q}[t-1])) \quad (30-3)$$

$$((\mathbf{p}, \mathbf{q}) - (\mathbf{p}[t-1], \mathbf{q}[t-1]))$$

در رابطه (30-3)، $\nabla g_{k,u}^T(\mathbf{p}, \mathbf{q})$ به صورت زیر است:

$$\frac{\partial g_{k,u}}{\partial \mathbf{p}(k, u, n)} = \begin{cases} 0 & \forall i = k \\ \frac{W_s \delta_{i,j}^n h_{i,u}^n}{\ln(2) \sum_{v \in K \setminus k} \sum_{s \in U_v} \delta_{v,s}^n h_{v,u}^n p_{v,s}^n} & \forall i \neq K \end{cases} \quad (31-3)$$

$$\frac{\partial g_{k,u}}{\partial \mathbf{q}(k, n)} = \begin{cases} 0 & \forall i = k \\ \frac{W_s \zeta_i^n h_u^n}{\ln(2) \sum_{v \in K \setminus k} \sum_{s \in U_v} \zeta_v^n h_u^n q_v^n} & \forall i \neq K, \end{cases} \quad (32-3)$$

از این رو، نرخ داده در کاربر $u \in U_k$ روی زیر حامل n بصورت زیر تقریب زده می شود:

$$\begin{aligned} \sum_n \delta_{k,u}^n r_{k,u}^n &= f_{k,u} - g_{k,u}(\mathbf{p}[t-1], \mathbf{q}[t-1]) \\ &\quad - \nabla g_{k,u}^T(\mathbf{p}[t-1], \mathbf{q}[t-1]) * ((\mathbf{p}, \mathbf{q}) \\ &\quad - (\mathbf{p}[t-1], \mathbf{q}[t-1])) \end{aligned} \quad (33-3)$$

در ادامه تقریب D.C را برای $\sum_n \zeta_k^n r_k^n$ به صورت تفاضل دو تابع مقعر $f_{k,u}$ و $g_{k,u}$ به صورت

$$\sum_n \zeta_k^n r_k^n = f_k(\mathbf{p}, \mathbf{q}) - g_k(\mathbf{p}, \mathbf{q}) \quad \text{که در آن:}$$

$$f_k(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = W_s \log_2(\sigma_k^n + \sum_{i \in K} \sum_{j \in U_i} \delta_{i,j}^n h_{i,j}^n p_{i,j}^n + q_k^n g_k^n) \quad (34-3)$$

$$g_k(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = W_s \log_2(\sigma_k^n + \sum_{i \in K} \sum_{j \in U_i} \delta_{i,j}^n h_{i,j}^n p_{i,j}^n) \quad (35-3)$$

عبارت $g_k(\mathbf{p}, \mathbf{q}) - r_k^n$ تابع r_k^n را غیر مقعر می کند، $g_k(\mathbf{p}, \mathbf{q})$ را با استفاده از تقریب مرتبه اول تیلور

به صورت زیر تقریب می زنیم:

$$g_k(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = g_k(\mathbf{p}[t-1], \mathbf{q}[t-1]) + \nabla g_k^T(\mathbf{p}[t-1], \mathbf{q}[t-1]) * ((\mathbf{p}, \mathbf{q}) - (\mathbf{p}[t-1], \mathbf{q}[t-1])) \quad (36-3)$$

$$((\mathbf{p}, \mathbf{q}) - (\mathbf{p}[t-1], \mathbf{q}[t-1]))$$

در رابطه (34-3)، $\nabla g_k^T(\mathbf{p}, \mathbf{q})$ به صورت زیر است:

$$\frac{\partial g_k(\mathbf{p}, \mathbf{q})}{\partial \mathbf{p}(\mathbf{k}, \mathbf{u}, \mathbf{n})} = \begin{cases} 0 & \forall i = k \\ \frac{W_s \delta_{i,j}^n h_{i,j}^n}{\ln(2) \sum_{v \in K/k} \sum_{s \in U_v} \delta_{v,s}^n h_{v,u}^n p_{v,s}^n} & \forall i \neq k \end{cases}, \quad (37-3)$$

$$\frac{\partial g_k(\mathbf{p}, \mathbf{q})}{\partial \mathbf{q}(\mathbf{k}, \mathbf{n})} = 0 \quad (38-3)$$

از این رو، نرخ داده در UAV، k ام روی زیر حامل n بصورت زیر تقریب زده می شود:

$$\sum_n \zeta_k^n R_k^n = f_k - g_k(\mathbf{p}[t-1], \mathbf{q}[t-1]) - \nabla g_k^T(\mathbf{p}[t-1], \mathbf{q}[t-1]) * ((\mathbf{p}, \mathbf{q}) - (\mathbf{p}[t-1], \mathbf{q}[t-1])) \quad (39-3)$$

با جاگذاری نرخ داده مقعر تقریب زده شده در (33-3) و (39-3) در مسئله بهینه سازی (37-3)،

مسئله از نوع برنامه ریزی محدب مرتب شده^۱ می باشد و به راحتی قابل حل با استفاده نرم افزارهای حل مسائل محدب موجود مانند CVX است [۳، ۵، ۸]. همچنین با استفاده از روش دوگان لاگرانژ^۲، مسئله محدب شده قابل حل می باشد [۳، ۵، ۶].

۳-۳-۵- یافتن δ, ζ به ازای مقادیر ثابت $P, Q, \beta, x, \tilde{x}, A, I$

در این زیر مسئله با استفاده از نتایج به دست آمده برای $P, x, \tilde{x}$ از مسئله (3-۱۷) و I از مسئله (3-۳)

(۱۶)، مسئله ی مربوط به تخصیص زیر حامل به صورت زیر در می آید:

$$\min_{\Delta, \zeta} \sum_{k \in K} \sum_{u \in U_k} \sum_{n \in N} p_{k,u}^n \quad (3-40 \text{ آ})$$

$$s. t. \sum_n \delta_{k,u}^n r_{k,u}^n \geq S_c x_{k,u}^c \quad (3-40 \text{ ب})$$

$$\beta_{k,c} \sum_n \zeta_k^n R_k^n \geq (1 - I_{c,k}) S_c x_k^c \quad (3-40 \text{ پ})$$

^۱ Disciplined Convex Programming (DCP)

^۲ Lagrange Dual Method

$$\sum_{u \in U_k} \delta_{k,u}^n \leq 1, \forall n \in N, \quad \forall k \in K \quad (3-40 \text{ ت})$$

$$\sum_{k \in K} \zeta_k^n \leq 1, \forall n \in N \quad (3-40 \text{ ث})$$

$$\delta_{k,u}^n, \zeta_k^n \in \{0,1\} \quad (3-40 \text{ ج})$$

در مسئله (3-40) برای مقابله با قید گسسته (3-40 ج) از روش relaxation استفاده می‌کنیم [4,5,7]. بنابراین، متغیرهای $\delta_{k,u}^n$ و ζ_k^n به متغیرهای پیوسته بین صفر و یک تقریب زده شده که فاکتورهای تسهیم زمانی^۱ برای به ترتیب تمام کاربران UAV، k ام برای انتقال محتوای درخواستی روی زیر حامل n و تمامی UAVها روی زیر حامل n می باشد. از آنجای قیدهای (3-40 ب) و (3-40 پ) مسئله را غیر محدب می‌کند برای حل این مشکل از روش تقریب متوالی محدب استفاده می‌کنیم. لذا با استفاده از تقریب D.C در هر مرحله از تکرار، قیدهای (3-40 ب) و (3-40 پ) به یک تابع مقعر تقریب زده می‌شود. سپس مسئله محدب تقریب زده شده را حل می‌کنیم و جواب بهینه آن را می‌یابیم. برای این منظور $\sum_n \delta_{k,u}^n r_{k,u}^n$ را به صورت تفاضل دو تابع مقعر $f_{k,u}$ و $g_{k,u}$ به صورت

$$\sum_n \delta_{k,u}^n r_{k,u}^n = f_{k,u} - g_{k,u} \text{ می‌نویسیم که در آن:}$$

$$f_{k,u} = W_s \log(\sigma_{k,u}^n + \sum_{i \in K/k} \sum_{j \in U_i} \delta_{i,j}^n h_{i,u}^n p_{i,j}^n + \sum_{i \in K} \zeta_i^n h_u^n q_i^n + P_{k,u}^n h_{k,u}^n) \quad (3-41)$$

$$g_{k,u} = W_s \log(\sigma_{k,u}^n + \sum_{i \in K/k} \sum_{j \in U_i} \delta_{i,j}^n h_{i,u}^n p_{i,j}^n + \sum_{i \in K} \zeta_i^n h_u^n q_i^n) \quad (3-42)$$

از آنجاکه عبارت $(-g_{k,u})$ تابع $r_{k,u}^n$ را غیر مقعر می‌کند، $g_{k,u}(\Delta, \zeta)$ را با استفاده از تقریب مرتبه

اول تیلور به صورت زیر تقریب می‌زنیم:

$$g_{k,u}(\delta, \zeta) = g_{k,u}(\delta[t-1], \xi[t-1]) + \nabla g_{k,u}^T(\delta[t-1], \xi[t-1]) * ((\delta, \xi) - (\delta[t-1], \xi[t-1])) \quad (3-43)$$

در رابطه (3-43)، $\nabla g_k^T(\delta, \zeta)$ به صورت زیر است:

^۱ Time Sharing Factors

$$\frac{\partial g'_{k,u}(\delta, \zeta)}{\partial \delta(k, u, n)} = \begin{cases} 0 & \forall i = k \\ \frac{W_s p_{i,j}^n h_{i,u}^n}{\ln(2) \sum_{v \in K/k} \sum_{s \in U_v} \delta_{v,s}^n h_{v,u}^n p_{v,s}^n} & \forall i \neq K \end{cases} \quad (44-3)$$

$$\frac{\partial g'_{k,u}(\delta, \zeta)}{\partial \zeta(k, n)} = \begin{cases} 0 & \forall i = k \\ \frac{W_s q_i^n h_u^n}{\ln(2) \sum_{v \in K} \zeta_v^n h_u^n q_v^n} & \forall i \neq K, \end{cases} \quad (45-3)$$

از این رو، نرخ داده در کاربر $u \in U_k$ روی زیر حامل n بصورت زیر تقریب زده می شود:

$$\begin{aligned} \sum_n \delta_{k,u}^n r_{k,u}^n &= f'_{k,u} - g'_{k,u}(\delta[t-1], \xi[t-1]) \\ &\quad - \nabla g_{k,u}'^T(\delta[t-1], \xi[t-1]) * ((\delta, \xi) \\ &\quad - \delta[t-1], \xi[t-1]) \end{aligned} \quad (46-3)$$

در ادامه تقریب D.C را برای $\sum_n \zeta_k^n r_k^n$ به صورت تفاضل دو تابع مقعر f_k و g_k به صورت

$$\sum_n \zeta_k^n r_k^n = f'_k - g'_k \quad \text{که در آن:}$$

$$f'_k = W_s \log(\sigma_k^n + \sum_{i \in K} \sum_{j \in U_i} \delta_{i,j}^n h_{i,j}^n p_{i,j}^n + q_k^n g_k^n) \quad (47-3)$$

$$g'_k = W_s \log(\sigma_k^n + \sum_{i \in K} \sum_{j \in U_i} \delta_{i,j}^n h_{i,j}^n p_{i,j}^n) \quad (48-3)$$

عبارت $(-g'_k)$ تابع $r_{k,u}^n$ را غیر مقعر می کند، $g'_k(\Delta, \zeta)$ را با استفاده از تقریب مرتبه اول تیلور به

صورت زیر تقریب می زنیم:

$$\begin{aligned} g'_k(\delta, \zeta) &= g'_k(\delta[t-1], \xi[t-1]) + \nabla g_k'^T(\delta[t-1], \xi[t-1]) \\ &\quad * ((\delta, \xi) - (\delta[t-1], \xi[t-1])) \end{aligned} \quad (49-3)$$

در رابطه (49-3)، $\nabla g_k'^T(\delta, \zeta)$ به صورت زیر است:

$$\frac{\partial g_k'^T(\delta, \xi)}{\partial \delta(k, u, n)} = \begin{cases} 0 & \forall i = k \\ \frac{W_s \delta_{i,j}^n h_{i,j}^n}{\ln(2) \sum_{v \in K/k} \sum_{s \in U_v} \delta_{v,s}^n h_{v,u}^n p_{v,s}^n} & \forall i \neq K \end{cases}, \quad (50-3)$$

$$\frac{\partial g_k^T(\delta, \xi)}{\partial \xi(k, n)} = 0 \quad \forall i, k \in K \quad (51-3)$$

از این رو، نرخ داده در UAV، k ام روی زیر حامل n بصورت زیر تقریب زده می شود:

$$\begin{aligned} \sum_n \zeta_k^n R_k^n &= f_k - g_k(\delta[t-1], \xi[t-1]) \\ &- \nabla g_k^T(\delta[t-1], \xi[t-1]) * ((\delta, \xi) \\ &- \delta[t-1], \xi[t-1]) \end{aligned} \quad (52-3)$$

۳-۳-۶- یافتن A به ازای مقادیر ثابت $P, x, \tilde{x}, \delta, \zeta, I$

در این زیر مسئله با استفاده از نتایج به دست آمده برای $P, x, \tilde{x}$ از مسئله (۳-۲۶)، (δ, ξ) از مسئله

(۳-۳۹) و I از مسئله (۳-۲۵)، مسئله ی مربوط به مسیریابی UAV ها را بدست می آوریم:

$$\min_A \sum_{k \in K} \sum_{u \in U_k} \sum_{n \in N} p_{k,u}^n \quad (\bar{A} \text{ ۵۳-۳})$$

$$s. t. \quad \sum_n \delta_{k,u}^n r_{k,u}^n \geq S_c x_{k,u}^c \quad (\text{ب ۵۳-۳})$$

$$\beta_{k,c} \sum_n \zeta_k^n R_k^n \geq (1 - I_{c,k}) S_c x_k^c \quad (\text{پ ۵۳-۳})$$

$$\|A_i - A_{i0}\| \leq A_T \quad \forall k \in K \quad i \in K \quad (\text{ت ۵۳-۳})$$

$$\|A_i - A_j\| \geq d_{\min} \quad i, j \in K, i \neq j \quad (\text{ث ۵۳-۳})$$

در مسئله (۵۳-۳) سه قید (۵۳-۳ ب)، (۵۳-۳ پ) و (۵۳-۳ ث) مسئله را غیر محدب می کند برای

حل این مشکل از روش تقریب متوالی محدب استفاده می کنیم؛ لذا با استفاده از تقریب D.C در هر

مرحله از تکرار قیدهای (۵۳-۳ ب)، (۵۳-۳ پ) و (۵۳-۳ ث) به یک تابع مقعر تقریب زده می شود.

سپس مسئله محدب تقریب زده شده را حل می کنیم و جواب بهینه آن را می یابیم.

برای این منظور $\sum_n \delta_{k,u}^n r_{k,u}^n$ را با یک تابع خطی بصورت $\sum_n \delta_{k,u}^n r_{k,u}^n = f_{k,u}''(x_k, y_k)$

می نویسیم که در آن:

$$f_{k,u}'' = W_s \log(\sigma_{k,u}^n + \sum_{i \in K/k} \sum_{j \in U_i} \delta_{i,j}^n h_{i,u}^n p_{i,j}^n + \sum_{i \in K} \zeta_i^n h_u^n q_i^n + P_{k,u}^n h_{k,u}^n) \quad (54-3)$$

عبارت $g_{k,u}''$ را با استفاده از تقریب مرتبه اول تیلور به صورت زیر به یک تابع خطی تقریب می زنیم:

$$f_{k,u}''(\mathbf{x}_k, \mathbf{y}_k) = f_{k,u}''(\mathbf{x}_k[t-1], \mathbf{y}_k[t-1]) + \nabla f_{k,u}''^T(\mathbf{x}_k[t-1], \mathbf{y}_k[t-1]) * ((\mathbf{x}_k, \mathbf{y}_k) - \mathbf{x}_k[t-1], \mathbf{y}_k[t-1]) \quad (55-3)$$

در رابطه (55-3)، $\nabla f_{k,u}''^T$ به صورت مشتق تابع زنجیره‌ای، به صورت زیر است:

$$\frac{\partial f_{k,u}''(\mathbf{x}_k, \mathbf{y}_k)}{\partial \mathbf{h}} = \begin{cases} 0 & \forall i = k \\ \frac{W_s \delta_{i,j}^n p_{i,j}^n}{\ln(2) \sum_{v \in K/k} \sum_{s \in U_v} \delta_{v,s}^n h_{v,u}^n p_{v,s}^n} & \forall i \neq K \end{cases} \quad (56-3)$$

$$\frac{\partial f_{k,u}''(\mathbf{x}_k, \mathbf{y}_k)}{\partial \mathbf{h}} = \begin{cases} 0 & \forall i = k \\ \frac{W_s q_i^n \zeta_i^n}{\ln(2) \sum_{v \in K} \zeta_v^n h_u^n q_v^n} & \forall i \neq K, \end{cases} \quad (57-3)$$

$$\frac{\partial \mathbf{h}(\mathbf{k}, \mathbf{u}, \mathbf{n})}{\partial \mathbf{x}_k(1, k)} = \left(\frac{-\mu_{LoS} \Pr(l_{t,ku}^{LoS}) (x_k - x_j)}{\sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2 + (h_k)^2}^2} - \frac{-\mu_{NLoS} \Pr(l_{t,ku}^{NLoS}) (x_k - x_j)}{\sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2 + (h_k)^2}^2} \right) 10^{-\frac{\bar{l}_{t,ku}(A_{t,k}, A_D)}{10}} \quad (58-3)$$

$$\frac{\partial \mathbf{h}(\mathbf{k}, \mathbf{u}, \mathbf{n})}{\partial \mathbf{y}_k(1, k)} = \left(\frac{-\mu_{LoS} \Pr(l_{t,ku}^{LoS}) (y_k - y_j)}{\sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2 + (h_k)^2}^2} - \frac{-\mu_{NLoS} \Pr(l_{t,ku}^{NLoS}) (y_k - y_j)}{\sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2 + (h_k)^2}^2} \right) 10^{-\frac{\bar{l}_{t,ku}(A_{t,k}, A_D)}{10}} \quad (59-3)$$

$$\frac{\partial g(\mathbf{k}, \mathbf{n})}{\partial \mathbf{x}_k(1, k)} = \left(\frac{-2x_k \Pr(l_{t,k}^{LoS})}{\sqrt{(x_k)^2 + (y_k)^2 + (h_k)^2}^4} + \frac{-2x_k \eta \Pr(l_{t,k}^{NLoS})}{\sqrt{(x_k)^2 + (y_k)^2 + (h_k)^2}^4} \right) 10^{-\frac{\bar{l}_{t,k}(A_{t,k}, A_D)}{10}} \quad (60-3)$$

$$\frac{\partial g(\mathbf{k}, \mathbf{n})}{\partial \mathbf{y}_k(1, k)} = \left(\frac{-2y_k \Pr(l_{t,k}^{LoS})}{\sqrt{(x_k)^2 + (y_k)^2 + (h_k)^2}^4} + \frac{-2y_k \eta \Pr(l_{t,k}^{NLoS})}{\sqrt{(x_k)^2 + (y_k)^2 + (h_k)^2}^4} \right) 10^{-\frac{\bar{l}_{t,k}(A_{t,k}, A_D)}{10}} \quad (61-3)$$

از این رو، نرخ داده در کاربر $u \in U_k$ روی زیرحامل n بصورت زیر تقریب زده می شود:

$$\begin{aligned} \sum_n \delta_{k,u}^n r_{k,u}^n &= f_{k,u}''(\mathbf{x}_k[t-1], \mathbf{y}_k[t-1]) \\ &\quad - \nabla f_{k,u}''^T(\mathbf{x}_k[t-1], \mathbf{y}_k[t-1]) * ((\mathbf{x}_k, \mathbf{y}_k) \\ &\quad - \mathbf{x}_k[t-1], \mathbf{y}_k[t-1]) \end{aligned} \quad (62-3)$$

در ادامه، $\sum_n \zeta_k^n r_k^n$ را با یک تابع خطی بصورت $\sum_n \delta_{k,u}^n r_{k,u}^n = f_k''(\mathbf{x}_k, \mathbf{y}_k)$ می نویسیم که در آن:

$$f_k'' = W_s \log(\sigma_k^n + \sum_{i \in K} \sum_{j \in U_i} \delta_{i,j}^n h_{i,j}^n p_{i,j}^n + q_k^n g_k^n) \quad (63-3)$$

عبارت f_k'' را با استفاده از تقریب مرتبه اول تیلور به صورت زیر به یک تابع خطی تقریب می زنیم:

$$\begin{aligned} f_k''(\mathbf{x}_k, \mathbf{y}_k) &= f_k''(\mathbf{x}_k[t-1], \mathbf{y}_k[t-1]) \\ &\quad + \nabla f_k''^T(\mathbf{x}_k[t-1], \mathbf{y}_k[t-1]) * ((\mathbf{x}_k, \mathbf{y}_k) \\ &\quad - \mathbf{x}_k[t-1], \mathbf{y}_k[t-1]) \end{aligned} \quad (64-3)$$

در رابطه (64-3)، $\nabla f_k''^T$ به صورت مشتق تابع زنجیره ای، به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} &\frac{\partial f_k''(\mathbf{x}_k, \mathbf{y}_k)}{\partial \mathbf{h}} \\ &= \begin{cases} 0 & \forall i = k \\ \frac{W_s \delta_{i,j}^n p_{i,j}^n}{\ln(2) \sum_{v \in K} \sum_{s \in U_v} \delta_{v,s}^n h_{v,s}^n p_{v,s}^n} & \forall i \neq K \end{cases} \quad (65-3) \end{aligned}$$

$$\frac{\partial f_k''(\mathbf{x}_k, \mathbf{y}_k)}{\partial \mathbf{h}} = 0 \quad (66-3)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \mathbf{h}(\mathbf{k}, \mathbf{u}, \mathbf{n})}{\partial \mathbf{x}_k(1, k)} \\ &= \left(\frac{-\mu_{LoS} \Pr(l_{t,ku}^{LoS}) (x_k - x_j)}{\sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2 + (h_k)^2}^2} \right. \\ & \quad \left. - \frac{-\mu_{NLoS} \Pr(l_{t,ku}^{NLoS}) (x_k - x_j)}{\sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2 + (h_k)^2}^2} \right) 10^{-\frac{\bar{l}_{t,ku}(A_{t,k}, A_D)}{10}} \end{aligned} \quad (67-3)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \mathbf{h}(\mathbf{k}, \mathbf{u}, \mathbf{n})}{\partial \mathbf{y}_k(1, k)} \\ &= \left(\frac{-\mu_{LoS} \Pr(l_{t,ku}^{LoS}) (y_k - y_j)}{\sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2 + (h_k)^2}^2} \right. \\ & \quad \left. - \frac{-\mu_{NLoS} \Pr(l_{t,ku}^{NLoS}) (y_k - y_j)}{\sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2 + (h_k)^2}^2} \right) 10^{-\frac{\bar{l}_{t,ku}(A_{t,k}, A_D)}{10}} \end{aligned} \quad (68-3)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \mathbf{g}(\mathbf{k}, \mathbf{n})}{\partial \mathbf{x}_k(1, k)} \\ &= \left(\frac{-2x_k \Pr(l_{t,k}^{LoS})}{10(\sqrt{(x_k)^2 + (y_k)^2 + (h_k)^2}^4)} \right. \\ & \quad \left. + \frac{-2x_k \eta \Pr(l_{t,k}^{NLoS})}{10(\sqrt{(x_k)^2 + (y_k)^2 + (h_k)^2}^4)} \right) \ln(10) 10^{-\frac{\bar{l}_{t,k}(A_{t,k}, A_D)}{10}} \end{aligned} \quad (69-3)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \mathbf{g}(\mathbf{k}, \mathbf{n})}{\partial \mathbf{y}_k(1, k)} \\ &= \left(\frac{-2y_k \Pr(l_{t,k}^{LoS})}{10(\sqrt{(x_k)^2 + (y_k)^2 + (h_k)^2}^4)} \right. \\ & \quad \left. + \frac{-2y_k \eta \Pr(l_{t,k}^{NLoS})}{10(\sqrt{(x_k)^2 + (y_k)^2 + (h_k)^2}^4)} \right) \ln(10) 10^{-\frac{\bar{l}_{t,k}(A_{t,k}, A_D)}{10}} \end{aligned} \quad (70-3)$$

از این رو، نرخ داده در UAV، k م روی زیر حامل n بصورت زیر تقریب زده می شود:

$$\begin{aligned} \sum_n \zeta_k^n R_k^n &= f_k'' - g_k''(\mathbf{x}_k[t-1], \mathbf{y}_k[t-1]) \\ & \quad - \nabla g_k''^T(\mathbf{x}_k[t-1], \mathbf{y}_k[t-1]) * ((\mathbf{x}_k, \mathbf{y}_k) \\ & \quad - \mathbf{x}_k[t-1], \mathbf{y}_k[t-1]) \end{aligned} \quad (71-3)$$

در آخر با استفاده از تقریب D.C. قید (3-52) را به صورت $\|A_i - A_j\| = d_{ij}$ می نویسیم که در

آن:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2 + (h_k - h_j)^2} \quad (۷۲-۳)$$

عبارت g_k''' را با استفاده از تقریب مرتبه اول تیلور به صورت زیر به یک تابع خطی تقریب می زنیم:

$$\begin{aligned} d_{ij}(x_k, y_k, h_k, x_j, y_j, h_j) \\ = d_{ij}(\mathbf{x}_k[t-1], \mathbf{x}_j[t-1], \mathbf{y}_k[t-1], \mathbf{y}_j[t-1], \mathbf{h}_k[t-1], \mathbf{h}_j[t-1]) \\ + \nabla d_{ij}^T(\mathbf{x}_k[t-1], \mathbf{x}_j[t-1], \mathbf{y}_k[t-1], \mathbf{y}_j[t-1], \mathbf{h}_k[t-1], \mathbf{h}_j[t-1]) * ((\mathbf{x}_k, \mathbf{x}_j, \mathbf{y}_k, \mathbf{y}_j, \mathbf{h}_k, \mathbf{h}_j) \\ - (\mathbf{x}_k[t-1], \mathbf{x}_j[t-1], \mathbf{y}_k[t-1], \mathbf{y}_j[t-1], \mathbf{h}_k[t-1], \mathbf{h}_j[t-1])) \end{aligned} \quad (۷۳-۳)$$

در رابطه (۷۳-۳)، $\nabla g_k'''^T$ به صورت زیر است:

$$\frac{\partial d_{ij}}{\partial \mathbf{x}_k(1, k)} = \frac{2(x_k - x_j)}{2\sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2 + (h_k - h_j)^2}} \quad (۷۴-۳)$$

$$\frac{\partial d_{ij}}{\partial \mathbf{y}_k(1, k)} = \frac{2(y_k - y_j)}{2\sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2 + (h_k - h_j)^2}} \quad (۷۵-۳)$$

$$\frac{\partial d_{ij}}{\partial \mathbf{x}_j(1, j)} = \frac{-2(x_k - x_j)}{2\sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2 + (h_k - h_j)^2}} \quad (۷۶-۳)$$

$$\frac{\partial d_{ij}}{\partial \mathbf{y}_j(1, j)} = \frac{-2(y_k - y_j)}{2\sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2 + (h_k - h_j)^2}} \quad (۷۷-۳)$$

$$\frac{\partial d_{ij}}{\partial \mathbf{h}_j(1, j)} = 0 \quad (۷۸-۳)$$

$$\frac{\partial d_{ij}}{\partial \mathbf{h}_k(1, k)} = 0 \quad (۷۹-۳)$$

فصل چهارم : جمع بندی و شبیه سازی

۴-۱- نتایج شبیه‌سازی

در این قسمت، نتایج شبیه‌سازی برای کارایی روش ذخیره‌سازی در UAVها ارائه شده‌است. در شبیه‌سازی فرض شده است که مرکز داده بین ۲۰۰۰ الی ۲۵۰۰ متر از UAVها قرار دارد. تعداد کاربران وصل شده به هر UAV برابر با ۱۴ می‌باشد. فرض می‌کنیم محوشوندگی کانال‌های بی‌سیم دسترسی و بک‌هال با یک توزیع مستقل و یکسان توزیع شده‌اند^۱ و با توزیع ریلی^۲ مدل شده‌اند. لذا بهره توان کانال‌ها به صورت توزیع نمایی^۳ مدل می‌شوند. فرض می‌کنیم میانگین توزیع نمایی بهره توان کانال ۰/۲ باشد. همچنین، توان تلفات مسیر کانال‌های بی‌سیم از مرتبه ۲ فرض می‌شود. پهنای باند کانال‌های دسترسی بی‌سیم و بک‌هال برابر با ۱۰ مگاهرتز بوده و پهنای باند هر زیرحامل فرض می‌شود برابر با ۱۸۰ کیلوهرتز می‌باشد. بنابراین، تعداد زیرحامل‌های کانال‌های دسترسی و بک‌هال برابر با ۸ می‌باشد. چگالی طیف توان^۴ نویز سفید گوسی جمع‌شونده نیز برابر با -174 dBm/Hz فرض شده‌است. بیشینه توان مصرفی مرکز داده ۰/۱ وات قرار داده شده‌است. همچنین، حداکثر مهلت زمانی مجاز برای تحویل محتوا به کاربر در شبکه برابر با ۵ ثانیه فرض شده‌است. فرض می‌کنیم ۱۰ عدد محتوا در شبکه وجود دارد. اندازه هر محتوا نیز با یک توزیع لاگ‌نرمال با میانگین ۲ و واریانس ۰/۱ مدل شده‌است (برحسب مگابیت). محبوبیت محتواها نیز با توزیع Zipf با پارامتر ۰/۵ مدل شده‌است. فرض می‌شود بیشینه ظرفیت حافظه هر UAV برابر با ۰/۴ برابر مجموع کل اندازه محتواها در شبکه باشد. پارامترهای سیستم در جدول ۴-۱ آمده است.

^۱ Independently and Identically Distributed (i.i.d.)

^۲ Rayleigh Distribution

^۳ Exponentially Distribution

^۴ Power Spectral Density (PSD)

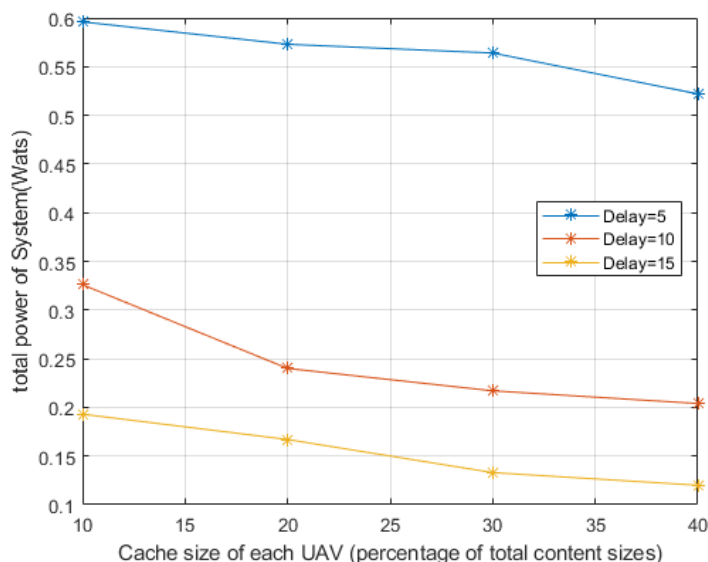
جدول ۴-۱ مقادیر پارامترهای استفاده شده در شبیه‌سازی

متغیر	نماد	مقدار متغیر
تعداد UAVها	K	۲
تعداد کاربران هر UAV	U	۴
شعاع پوشش‌دهی هر UAV	-	۲۰۰
حداکثر فاصله بین UAV و مرکز داده	-	۲۵۰۰
میانگین توزیع نمایی بهره توان کانال	-	۰/۲
توان تلفات مسیر	-	۲
چگالی طیف توان نویز سفید گوسی	-	-۱۷۴dBm/Hz
پهنای باند فرکانسی کانال دسترسی و بک‌هال	W	۱۰ مگاهرتز
پهنای باند فرکانسی هر زیرحامل	W_s	۱۸۰ کیلوهرتز
تعداد زیرحامل‌های کانال دسترسی و بک‌هال	N	۸
تعداد محتواها	C	۱۰
اندازه محتواها	$\ln N(\mu_s, \sigma_s^2)$	$\ln N(2, 0.1)$
پارامتر توزیع Zipf	-	۰/۵
ظرفیت حافظه کسری هر UAV	-	۰/۴
بیشینه توان ارسالی UAV	P_k^{max}	۰/۵ وات
بیشینه توان ارسالی مرکز داده	$Q_{D.C}^{max}$	۰/۱ وات
حداکثر زمان مجاز تحویل هر محتوا به کاربر	T	۴۰ ثانیه

در این شبیه‌سازی، الگوریتم ذخیره‌سازی پیشنهاد شده را به‌ازای متغیرهای مختلف مسئله و تأثیر آن‌ها بر سیستم، را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۱-۱-۴- بررسی اثر ظرفیت حافظه ذخیره‌سازها

شکل ۱-۴ مجموع توان مصرفی کل شبکه (مرکز داده و UAVها) نسبت به مقادیر مختلف ظرفیت حافظه ذخیره‌سازی UAVها آمده است.

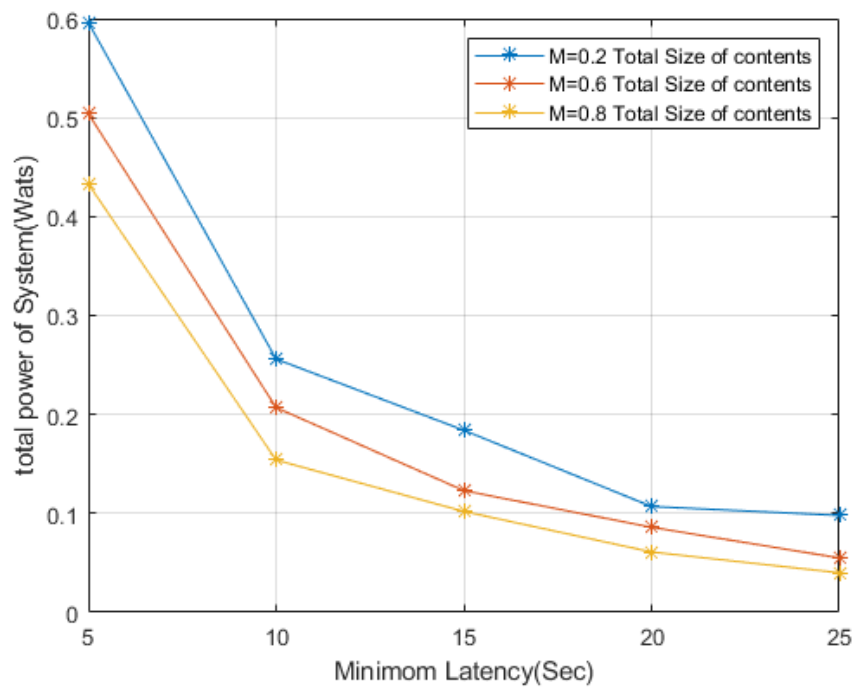


شکل ۱-۴ مجموع توان مصرفی کل شبکه (مرکز داده و UAVها) نسبت به مقادیر مختلف ظرفیت حافظه ذخیره‌سازی UAVها (M) به ازای زمان‌های مختلف مجاز تحویل هر محتوا به کاربر

در شکل ۱-۴ مجموع توان مصرفی کل شبکه را نشان می‌دهد. طبق شکل ۱-۴ با افزایش ظرفیت حافظه UAVها، میزان توان مصرفی کل سیستم کاهش می‌یابد، زیرا افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی در UAVها، باعث ذخیره بیشتر محتواها می‌شود، از این رو، محتواهای بیشتری به کاربران نزدیک می‌شود و در نتیجه، ترافیک کانال‌های بک‌هال کاهش می‌یابد، از اینرو میزان توان مصرفی کل شبکه کاهش می‌یابد. از شکل ۱-۴، همچنین این نتیجه به دست می‌آید که هرچه زمان مجاز تحویل هر محتوا به کاربر را کمتر در نظر بگیریم، با در نظر گرفتن استراتژی ذخیره‌سازی محتوا برای UAVها، مجموع توان مصرفی کل شبکه (مرکز داده و UAVها)، به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد.

۴-۱-۲- بررسی اثر زمان مجاز تحویل هر محتوا به کاربر، بر مجموع توان مصرفی کل شبکه (مرکز داده و UAVها)

شکل ۴-۲ مجموع توان مصرفی کل شبکه (مرکز داده و UAVها) نسبت به مقادیر مختلف زمان مجاز تحویل هر محتوا به کاربر به ازای مقادیر مختلف حافظه ذخیره‌ساز در UAVها، را نشان می‌دهد.

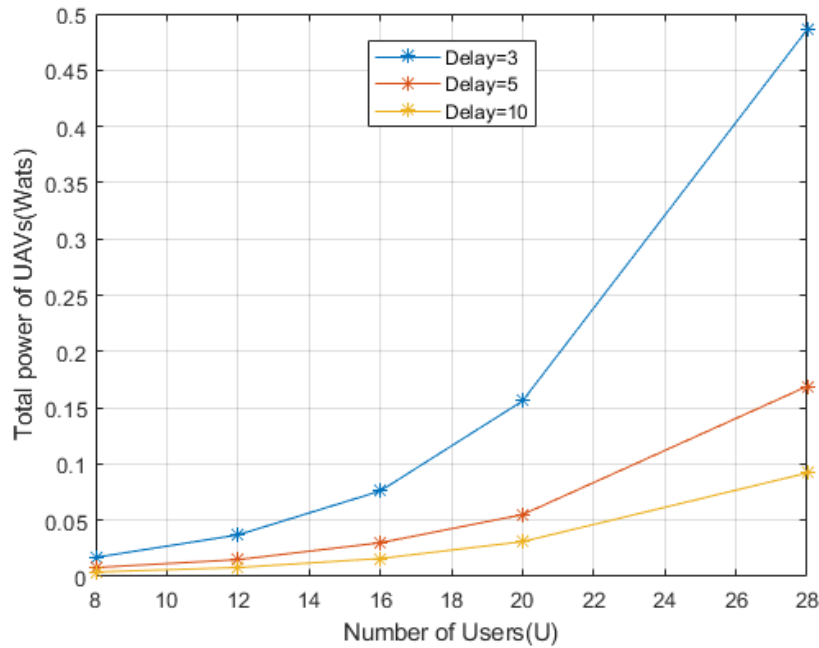


شکل ۴-۲ مجموع توان مصرفی کل شبکه (مرکز داده و UAVها) نسبت به مقادیر مختلف زمان مجاز تحویل هر محتوا به کاربر به ازای مقادیر مختلف حافظه ذخیره‌ساز در UAVها

طبق شکل ۴-۲، با افزایش زمان تحویل محتوا به کاربران، میزان مجموع توان مصرفی کل شبکه (مرکز داده و UAVها) کاهش می‌یابد. همچنین از شکل ۴-۲ این نتیجه بدست می‌آید که هرچه میزان ظرفیت حافظه ذخیره‌ساز UAVها بیشتر باشد، تعداد محتواهایی که به کاربران نزدیکتر شده افزایش می‌یابد همچنین ترافیک کانال‌های بک‌هال کاهش پیدا می‌کند، لذا مجموع توان مصرفی کل شبکه کاهش می‌دهد.

۳-۱-۴- بررسی اثر تعداد کاربران

در شکل ۳-۴ اثر تعداد کاربران بر میزان توان مصرفی در UAV ها را با توجه به زمان های مختلف تحویل محتوا به کاربران نشان داده شده است.

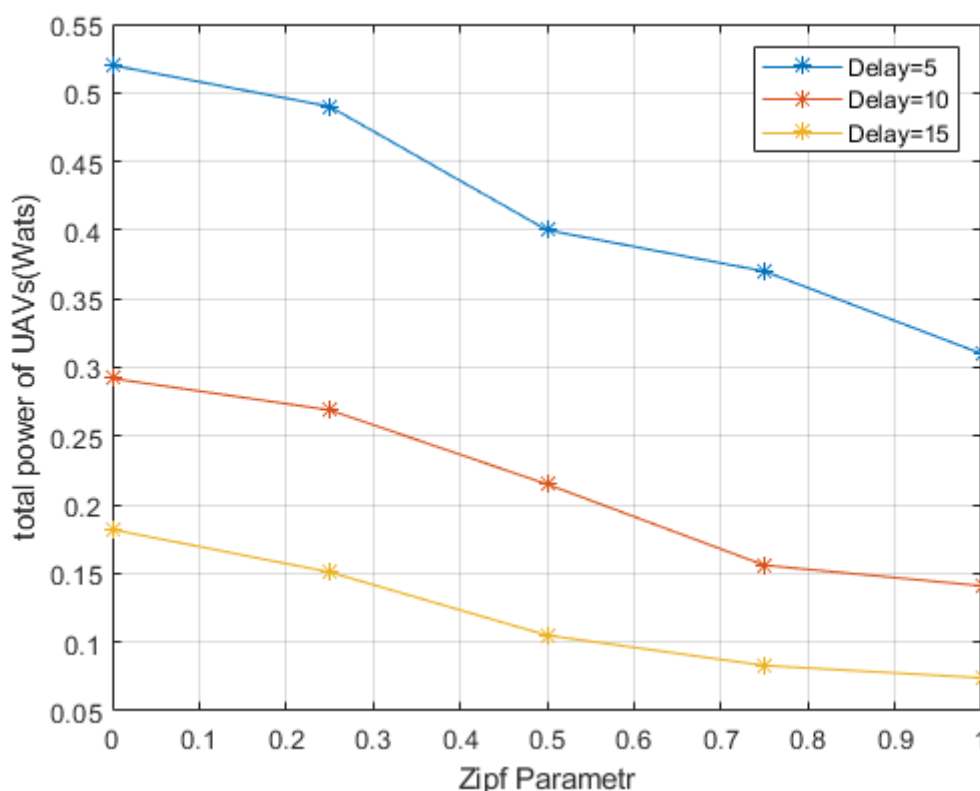


شکل ۳-۴ اثر تعداد کاربران بر میزان توان مصرفی در UAV ها با توجه به زمان های مختلف تحویل محتوا به کاربران

طبق نتایج به دست آمده از شکل ۳-۴ می توان دریافت که افزایش تعداد کاربران هر UAV، مجموع توان مصرفی در UAV ها زیاد می شود. با افزایش تعداد کاربران هر UAV، درخواست های کاربران به تدریج زیاد می شود که باعث افزایش ترافیک محتواها در شبکه دسترسی و بکپال می گردد. از طرفی، بخاطر محدودیت ظرفیت کانال ها (که از محدود بودن منابع رادیویی کانال های دسترسی و بکپال نتیجه گرفته می شود)، این افزایش ترافیک باعث افزایش قابل توجه مجموع توان ارسالی در هر UAV می شود.

۴-۱-۴- بررسی اثر عدم تقارن توزیع محبوبیت محتواها

شکل ۴-۴ تأثیر پارامتر Zipf را بر مجموع توان ارسالی UAV ها به کاربران نشان می دهد.



شکل ۴-۴ تأثیر پارامتر توزیع Zipf بر مجموع توان ارسالی UAVها به ازای زمان‌های مختلف تحویل محتوا به کاربران

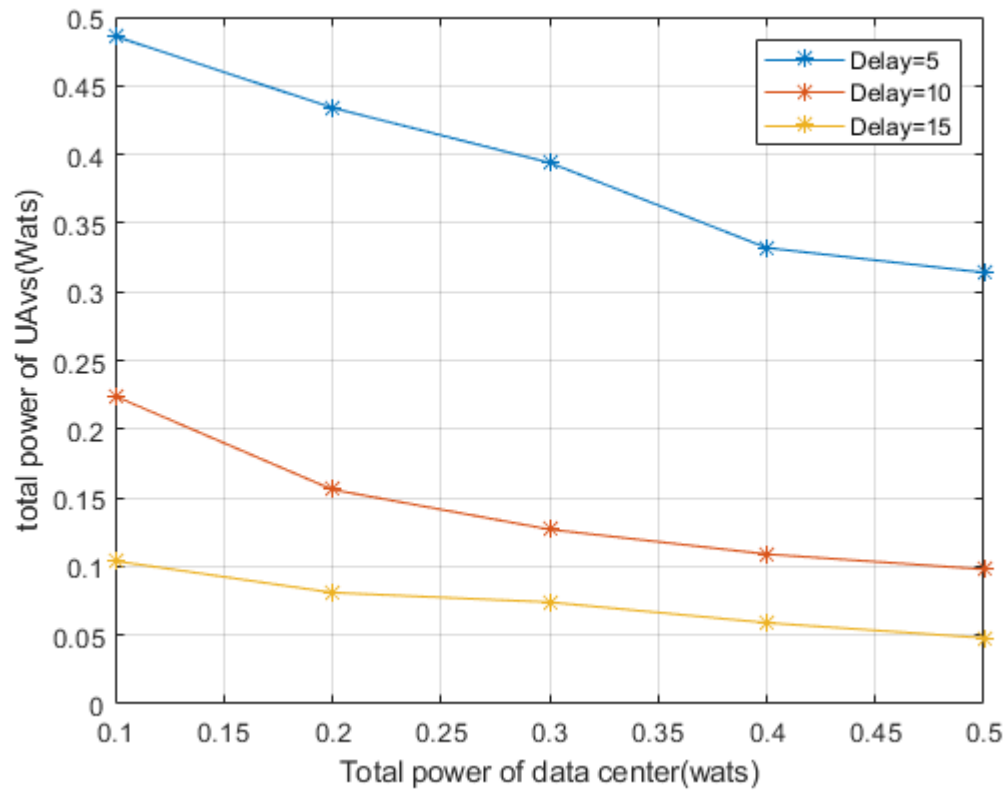
زمانی که مقدار پارامتر Zipf، یعنی α به سمت صفر میل می‌کند، محبوبیت درخواست محتواها باهم برابر می‌شوند؛ بنابراین تنوع درخواست‌ها^۱ی کاربران زیاد می‌شود و به دلیل محدودیت ظرفیت ذخیره‌سازی در UAV، ترافیک بک‌هاال افزایش می‌یابد. از این رو، مجموع توان ارسالی زیاد می‌شود. از طرفی با افزایش α ، انواع درخواست‌های کاربران کاهش می‌یابد، یعنی تنها تعداد خاصی از محتواها در شبکه درخواست داده می‌شوند؛ بنابراین ترافیک بک‌هاال کم شده و مجموع توان ارسالی کاهش پیدا می‌کند.

۴-۱-۵- بررسی اثر حداکثر توان ارسالی مرکز داده

شکل ۴-۵ تأثیر میزان توان ارسالی مرکز داده را در مجموع توان مصرفی UAVها به ازای زمان‌های

^۱Request Diversity

مختلف تحویل محتوا به کاربران نشان می‌دهد.

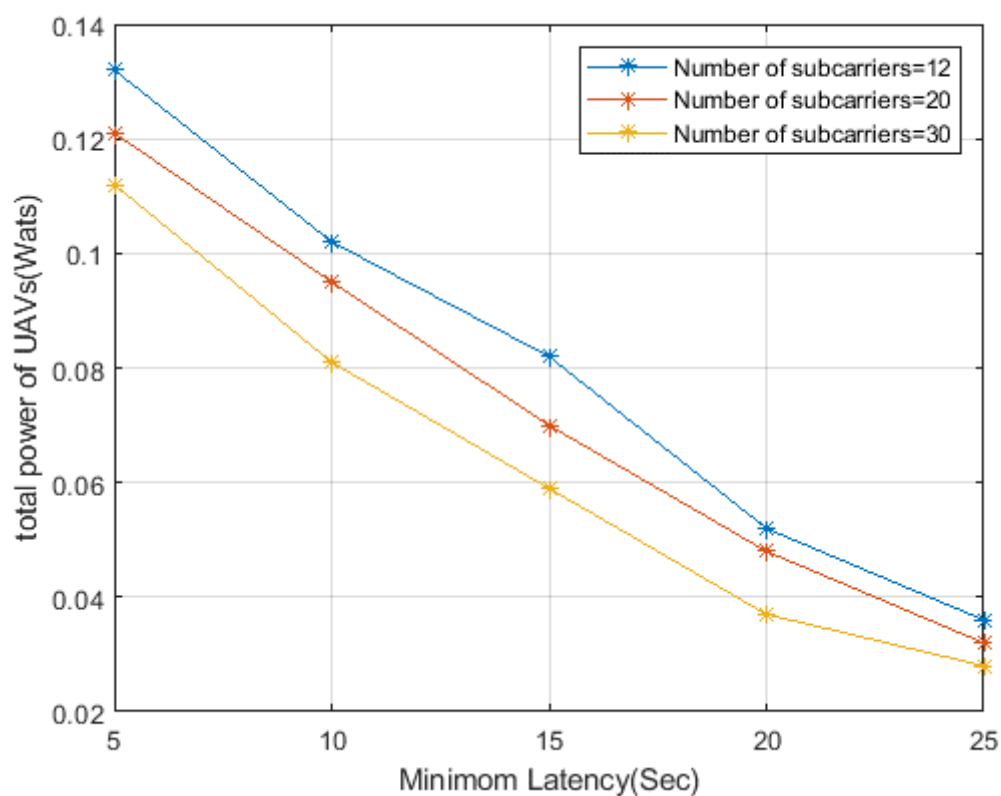


شکل ۴-۵ تاثیر توان ارسالی مرکز داده در مجموع توان مصرفی UAVها

در شکل ۴-۵ همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش توان ارسالی مرکز داده، مجموع توان مصرفی UAVها کاهش می‌یابد زیرا با افزایش توان ارسالی مرکز داده، نرخ ارسال کانال‌های بک‌هال افزایش یافته در نتیجه نرخ ارسال داده به کاربران نیز افزایش می‌یابد که این باعث کاهش مجموع توان ارسالی UAVها در شبکه می‌شود.

۴-۱-۶- بررسی اثر تعداد زیر حامل‌ها بر مجموع توان ارسالی UAVها

شکل ۴-۶ مجموع توان UAVها نسبت به مقادیر مختلف زمان مجاز تحویل هر محتوا به کاربر به ازای تعداد مختلف زیر حامل، را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۶ تأثیر تعداد زیر حامل‌ها بر مجموع توان مصرفی UAVها

تأثیر زمان تحویل محتوا به کاربر بر مجموع توان ارسالی UAVها در شکل ۴-۶ بیان شده است. در شکل ۴-۶ همان‌طور که مشخص است با افزایش تعداد زیر حامل‌ها، ترافیک کانال‌های دسترسی و بک‌هال کاهش پیدا می‌کند، لذا مجموع توان ارسالی UAVها کاهش می‌یابد.

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری

باتوجه به نقش اساسی روش های تخصیص منابع برای مدیریت بهتر منابع موجود و محدودیت مربوط به آن ها و همچنین پاسخ به اولویت های شبکه، در این پایان نامه، به بررسی طراحی الگوریتم ذخیره سازی برای UAV ها از منظر تخصیص منابع رادیویی و حافظه ذخیره سازها پرداخته شد و در این راستا مسائل متنوع با اهداف متفاوت مطرح شد. بصورت خاص، در ابتدا پس از معرفی مدل کلی سیستم در نظر گرفته شده در این پایان نامه، طرح پیشنهادی حل مسئله مطرح گردید. در این طرح هدف کمینه کردن مجموع توان مصرفی کل UAV ها در شبکه در نظر گرفته شد. همچنین برای حل مسئله پیشنهادی، یک الگوریتم از نوع تکرار شونده مطرح گردید. مسئله طرح شده در ادامه به چهار زیر مسئله تبدیل گردید و طبق الگوریتم طرح شده هر زیر مسئله حل گردید. در شبیه سازی نیز، نشان دادیم استفاده از منابع ذخیره سازی (حافظه ذخیره سازها) بصورت کارآمد با توجه به شرایط کانال های دسترسی و بکهاال و قرار دادن UAV ها در مکان های مناسب و تخصیص بهینه کانال های دسترسی و بکهاال به ترتیب به کاربران و UAV ها و همچنین نحوه و انتخاب بهینه ی محتواها جهت ذخیره سازی در حافظه UAV ها در زمان مناسب، مجموع توان مصرفی کل UAV ها در شبکه به میزان قابل توجهی در شبکه کاهش پیدا می کند.

۵-۲- پیشنهادات

برای ادامه تحقیق در زمینه ذخیره سازی محتواها، می توان به بررسی سناریوهای دیگر جهت ذخیره سازی محتواها مانند در نظر گرفتن تخصیص پویای منابع رادیویی با توجه به ترافیک لحظه ای کانال های دسترسی و بکهاال، استفاده از روش های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق به منظور نحوه ذخیره سازی محتوا در UAV ها، پیشبینی مکان حرکتی کاربران و درخواست های کاربران جهت بهبود کارایی شبکه استفاده کرد. همچنین، استفاده از استراتژی های همیار یکی دیگر از موضوعات مهم و جدید در حوزه ذخیره سازی محتواها می باشد که در آن، می توان با تخصیص همزمان منابع رادیویی و ذخیره سازی،

کارایی شبکه را بهبود بخشید. از طرفی، یکی از مهم‌ترین چالش‌های موجود در الگوریتم‌های ذخیره‌سازی محتواها، تخمین محبوبیت محتواها می‌باشد. در این راستا، روش‌های مختلفی برای تخمین محبوبیت محتواها استفاده شده‌است که هر کدام از منظرهای مختلف دارای چالش‌هایی می‌باشد. همچنین، برای مقابله با تحرک کاربران در شبکه، می‌توان از روش‌های تخمین مکان کاربران در شبکه استفاده نمود تا روش ذخیره‌سازی طرح شده، کل فاز تحویل محتوا را با فرض متغیر بودن مکان محتواها در شبکه پوشش دهد.

-
-
- [1] F. Cheng, G. Gui, N. Zhao, F. Richard Yu, Y. Chen, J. Tang, H. Sari; "Caching UAV Assisted Secure Transmission in Small-Cell Networks", International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC), pp. 696–701, Mar. 2018.
- [2] F. Zhou, Y. Wu, R. Qingyang Hu, Y. Qian; "Computation Rate Maximization in UAV-Enabled Wireless Powered Mobile-Edge Computing Systems", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.36, pp. 1927 – 1941, August 2018.
- [3] J. Xiong, H. Guo; "Task Offloading in UAV-Aided Edge Computing: Bit Allocation and Trajectory Optimization", IEEE Communications Letters, vol. 23, pp. 538–541, January. 2019.
- [4] T. Minh Nguyen, W. Ajib, C. Assi; "A Novel Cooperative NOMA For Designing UAV-Assisted Wireless Backhaul Networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.36, pp. 2497 – 2507, October 2018.
- [5] W. C. Ao and K. Psounis; "Fast content delivery via distributed caching and small cell cooperation", IEEE Transactions on Mobile Computing, Sep. 2017.
- [6] J. Liu, B. Bai, J. Zhang, K. B. Letaief; "Cache placement in Fog-RANs: From centralized to distributed algorithms", IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 16, pp. 7039–7051, Nov. 2017.
- [7] X. Li, X. Wang, S. Xiao, V. C. M. Leung; "Delay performance analysis of cooperative cell caching in future mobile networks", in Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC), England, pp. 5652–5657, June. 2015.
- [8] W. Jiang, G. Feng, S. Qin; "Optimal cooperative content caching and delivery policy for heterogeneous cellular networks", IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 16, pp. 1382–1393, May. 2017.
- [9] A. Fotouhi, H. Qiang, M. Ding, M. Hassan, L. G. Giordano, A. G. Rodriguez, J. Yuan; "Survey on UAV Cellular Communications: Practical Aspects, Standardization

Advancements, Regulation, and Security Challenges", COMMUNICATIONS SURVEYS AND TUTORIALS, June. 2018.

[10] W. Saad, M. Bennis, M. Chen; "A Vision of 6G Wireless Systems: Applications, Trends, Technologies, and Open Research Problems", Feb. 2019

[11] CISCO, "Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2015–2020," White Paper, Feb. 2016

[12] J. Liu, B. Bai, J. Zhang, and K. B. Letaief, "Cache placement in Fog-RANs: From centralized to distributed algorithms," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 16, pp. 7039–7051, Nov. 2017

[13] W. Jiang, G. Feng, and S. Qin, "Optimal cooperative content caching and delivery policy for heterogeneous cellular networks," IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 16, pp. 1382–1393, May 2017

[14] Z. Chen, J. Lee, T. Q. S. Quek, and M. Kountouris, "Cooperative caching and transmission design in cluster-centric small cell networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 16, pp. 3401–3415, May 2017.

[15] X. Li, X. Wang, S. Xiao, and V. C. M. Leung, "Delay performance analysis of cooperative cell caching in future mobile networks," in Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC), England, London, June 2015, pp. 5652–5657.

[16] H. Hsu and K. C. Chen, "A resource allocation perspective on caching to achieve low latency," IEEE Communications Letters, vol. 20, pp. 145–148, Jan. 2016.

[17] F. Cheng, Y. Yu, Z. Zhao, N. Zhao, Y. Chen, and H. Lin, "Power allocation for cache-aided small-cell networks with limited backhaul," IEEE Access, vol. PP, pp. 1–1, 2017.

[18] R. G. Stephen and R. Zhang, "Green OFDMA resource allocation in cache-enabled CRAN," in Proc. IEEE Online Conference on Green Communications (OnlineGreenComm), Nov. 2016, pp. 70–75.

[19] M. Ji, G. Caire, and A. F. Molisch, "The throughput-outage tradeoff of wireless one-hop caching networks," IEEE Transactions on Information Theory, vol. 61, pp. 6833–

6859, Dec. 2015.

[20] M. Ji, G. Caire, and A. F. Molisch, "Wireless device-to-device caching networks: Basic principles and system performance," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 34, pp. 176–189, Jan. 2016.

[21] Z. Tan, X. Li, F. R. Yu, L. Chen, H. Ji, and V. C. M. Leung, "Joint access selection and resource allocation in cache-enabled HCNs with D2D communications," in *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Mar. 2017, pp. 1–6.

[22] U. Niesen and M. A. Maddah-Ali, "Coded caching with nonuniform demands," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 63, pp. 1146–1158, Feb. 2017.

[22] M. Tao, E. Chen, H. Zhou, and W. Yu, "Content-centric sparse multicast beamforming for cache-enabled cloud RAN," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 15, pp. 6118–6131, Sep. 2016.

[23] M. Dehghan, A. Seetharam, B. Jiang, T. He, T. Salonidis, J. Kurose, et al., "On the complexity of optimal routing and content caching in heterogeneous networks," in *IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, Apr. 2015, pp. 936–944.

[24] J. Tang, T. Q. S. Quek, and W. P. Tay, "Joint resource segmentation and transmission rate adaptation in cloud RAN with caching as a service," in *Proc. IEEE 17th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)*, Scotland, Edinburgh, July 2016, pp. 1–6.

[25] K. Wang, H. Li, F. R. Yu, and W. Wei, "Virtual resource allocation in software-defined information-centric cellular networks with device-to-device communications and imperfect CSI," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, pp. 10 011–10 021, Dec. 2016.

[26] X. Peng, J. C. Shen, J. Zhang, and K. B. Letaief, "Backhaul-aware caching placement for wireless networks," in *Proc. IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, Dec. 2015, pp. 1–6.

[27] J. Liu, B. Bai, J. Zhang, and K. B. Letaief, "Content caching at the wireless

- network edge: A distributed algorithm via belief propagation," in Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC), May 2016, pp. 1–6.
- [28] R. Wang, X. Peng, J. Zhang, and K. B. Letaief, "Mobility-aware caching for content-centric wireless networks: Modeling and methodology," *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, pp. 77–83, Aug. 2016.
- [29] L. Breslau, P. Cao, L. Fan, G. Phillips, and S. Shenker, "Web caching and Zipf-like distributions: Evidence and implications," in Proc. Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, New York, USA, 1999, pp. 126–134.
- [30] C. Liang, F. R. Yu, H. Yao, and Z. Han, "Virtual resource allocation in information-centric wireless networks with virtualization," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, pp. 9902–9914, Dec. 2016.
- [31] K. Wang, F. R. Yu, and H. Li, "Information-centric virtualized cellular networks with device-to-device communications," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, pp. 9319–9329, Nov. 2016.
- [32] T. X. Tran, P. Pandey, A. Hajisami, and D. Pompili, "Collaborative multi-bitrate video caching and processing in mobile-edge computing networks," in Proc. 13th Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS), Jackson, WY, 2017, pp. 165–172.
- [33] H. A. Pedersen and S. Dey, "Enhancing mobile video capacity and quality using rate adaptation, RAN caching and processing," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 24, pp. 996–1010, Apr. 2016.
- [34] Q. Li, C. Zhang, X. Ge, T. Chen, and T. Zhang, "A cost-oriented cooperative caching for software-defined radio access networks," in Proc. IEEE 27th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2016,

pp. 1–6.

[35] A. Liu and V. K. N. Lau, "Asymptotic scaling laws of wireless Ad Hoc network with physical layer caching," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 15, pp. 1657–1664, Mar. 2016.

[36] N. Naderializadeh, M. A. Maddah–Ali, and A. S. Avestimehr, "Fundamental limits of cache–aided interference management," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 63, pp. 3092–3107, May 2017.

[37] P. Blasco and D. Gunduz, "Learning–based optimization of cache content in a small cell base station," in *Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Sydney, Australia, Jun. 2014, pp. 1897–1903.

[38] X. Xu and M. Tao, "Modeling, analysis, and optimization of coded caching in small–cell networks," *IEEE Transactions on Communications*, vol. PP, Mar. 2017.

[39] K. Li, C. Yang, Z. Chen, and M. Tao, "Optimization and analysis of probabilistic caching in N–tier heterogeneous networks," *arXiv:1612.04030v1*, Dec. Dec. 2016.

[40] J. Wen, K. Huang, S. Yang, and V. O. K. Li, "Cache–enabled heterogeneous cellular networks: Optimal tier–level content placement," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 16, pp. 5939–5952, Sep. 2017.

[41] Z. Chen, N. Pappas, and M. Kountouris, "Probabilistic caching in wireless D2D networks: Hit optimal vs. throughput optimal," *IEEE Communications Letters*, vol. 21, pp. 584 – 587, Mar. 2017.

[42] S. Hosny, A. Eryilmaz, and H. E. Gamal, "Impact of user mobility on D2D caching networks," in *Proc. IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, 2016, pp. 1–6.

[43] M. A. Salahuddin, J. Sahoo, R. Glitho, H. Elbiaze, and W. Ajib, "A survey on content placement algorithms for cloud–based content delivery networks," *IEEE Access*, vol. PP, pp. 1–1, Sep. 2017.

- [44] S. Borst, V. Gupta, and A. Walid, "Distributed caching algorithms for content distribution networks," in Proc. IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM), San Diego, CA, 2010.
- [45] J. Llorca, C. Sterle, A. Tulino, N. Choi, A. Sforza, and A. E. Amideo, "Joint content-resource allocation in software defined virtual CDNs," in Proc. IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW), London, 2015, pp. 1–2.
- [46] C. Psomas, G. Zheng, and I. Krikidis, "Cooperative wireless edge caching with relay selection," in Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC), Paris, 2017, pp. 1–5.
- [47] G. Zheng, H. A. Suraweera, and I. Krikidis, "Optimization of hybrid cache placement for collaborative relaying," IEEE Communications Letters, vol. 21, pp. 442–445, Feb. 2017.
- [48] J. Qiao, Y. He, and X. S. Shen, "Proactive caching for mobile video streaming in millimeter wave 5G networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 15, pp. 7187–7198, 2016.
- [49] Z. Ding, P. Fan, G. K. Karagiannidis, R. Schober, and H. V. Poor, "NOMA assisted wireless caching: strategies and performance analysis," arXiv:1709.06951v1, Sep. 2017.

Abstract

Recently, heterogeneous cellular networks with the ability to store content as a convenient way to navigate with increasing demand has been developed to survey low-latency multimedia devices and wing data rates in fifth-generation cellular networks. In general, content storage networks work in two separate time phases, called Content Caching Phase and Content Delivery Phase. In the Caching Phase, the goal is to design a content storage algorithm to improve the delivery efficiency of content delivered on the network. To this end, by combining strategies and sending the physical layer, we present an efficient storage algorithm using the benefits of flexible sending strategies in Bakhal wireless channels and simultaneous access. For this purpose, the designed contents caching algorithm is based on the optimal allocation of caching resources in Base Stations and radio sources of access channels and Bakhal channels. The use of new fifth-generation architectures is proposed as an appropriate solution to solve future challenges. In this regard, the use of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) as Air Base Station (ABS) and content caching in it, can improve the spectral efficiency of coverage and reliability. Air Base Stations as a promising solution to meet traffic needs are the important part of future telecommunications network communications. In this dissertation, we present an overview of content storage in UAVs, then formulate a content caching problem based on a predetermined caching strategy and the instantaneous users' requests in the network. The goal in the proposed algorithm is to minimize the power consumption of UAVs. The results obtained in the simulations show that the design of contents caching algorithm, according to the conditions of telecommunication channels, reduces the power consumption of UAVs.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, Air Base Station, UAV, Content Caching, joint access and backhaul radio resource allocation, latency.



Shahrood University of Technology
Faculty of Electrical and Robotics Engineering
M.Sc. Thesis in Communication Systems Engineering

Caching in UAV-enabled wireless networks

By: Asadallah Baseri

Supervisor:

Dr. Mohammadreza Javan

November 2021