



دانشکده مهندسی برق

مخابرات مشارکتی به کمک پهپادها

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی
در رشته مهندسی برق گرایش مخابرات

امیرحسین پوردادود

استاد راهنما:

دکتر سید محمد رضوی زاده

شهریورماه ۱۴۰۱

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

چکیده

پهپادهای بدون سرنشین (Unmanned Aerial Vehicles) به دلیل کاهش هزینه و افزایش کارایی، پیشرفت‌های جدیدی را در سال‌های اخیر شاهد بوده‌اند و به عنوان یک گزینه امیدوارکننده برای سناریوهای کلیدی در سیستم‌های ارتباطی بی سیم نسل پنجم (5G) در نظر گرفته شده‌اند. یکی از کاربردهای مهم آنها در سیستم‌های ارتباطی، به عنوان ایستگاه پایه هوایی (Aerial Base station) یا به عنوان رله سیار (Mobile Relay) است. میتوان گفت که بیشتر برنامه‌های ارتباطی پهپادها شامل ارتباطات دستگاه به دستگاه، شبکه‌های سلولی، حافظه پنهان و بارگذاری داده‌ها می‌شود. یکی از کاربردهای بالقوه برای ارتباطات بی سیم به کمک پهپاد، استفاده به عنوان رله در سیستم‌های مخابراتی مشارکتی است، زیرا پهپادها می‌توانند مکان‌های بهتری را با شرایط کانال مطلوب‌تر پیدا کنند. از این نظر، ارتباط مشارکتی با شرایط کانال قابل قبول، حتی زمانی که لینک مستقیم بین منبع و مقصد به شدت مسدود شده باشد همچنان می‌تواند حفظ شود. ارتباطات بی سیم به کمک پهپاد علیرغم مزایایی که نسبت به ارتباطات بی سیم معمولی دارد، همچنان با چالش‌های غیر قابل چشم پوشی مواجه است. این پروژه بر روی دومین کاربرد که در آن پهپادها به عنوان رله استفاده می‌شوند تمرکز دارد. در بسیاری از موارد از پهپاد های متعددی بصورت دسته ای و با توپولوژی های مختلف بعنوان مخابرات چند رله ای که هدف اصلی این پروژه است استفاده میشوند. و به چالش هایی نظیر موقعیت رله های پهپاد برای بهترین عملکرد رله با قید های بهینه کردن پارامترهای شبکه ارتباطی مانند گذردهی بین فرستنده و گیرنده، میزان سیگنال به نویز، کمترین نرخ بین فرستنده و گیرنده و غیره پرداخته و با الگوریتم های بهینه سازی بهینه میشود.

واژه‌های کلیدی: پهپاد های بدون سرنشین، مخابرات مشارکتی، رله های مخابراتی، گذردهی

فهرست مطالب

۶	فصل ۱: مقدمه ای بر UAV و مخابرات مشارکتی
۸	۱-۲- برخی تعاریف مخابراتی.....
۱۱	۱-۳- پهپاد.....
۱۳	۱-۴- مخابرات مشارکتی.....
۱۴	۱-۴-۱- رله های مشارکتی.....
۲۰	۱-۴-۲- مفهوم گره رله.....
۲۱	۱-۴-۳- بهبود شبکه سلولی با گره رله.....
۲۲	۱-۴-۴- ارسال در مخابرات مشارکتی.....
۲۶	۱-۴-۵- رله های متحرک.....
۲۸	۱-۵- انواع رله از نظر ارسال و دریافت داده.....
۲۸	۱-۵-۱- روش نیمه دو طرفه.....
۲۸	۱-۵-۲- روش دو طرفه.....
۲۹	فصل ۲: مخابرات مشارکتی در سیستم های UAV
۳۰	۲-۱- مقدمه.....
۳۰	۲-۲- ارتباطات بی سیم و شبکه با پهپاد.....
۳۱	۲-۲-۱- پهپادها به عنوان ایستگاه های پایه بی سیم پرنده.....
۳۲	۲-۲-۲- پهپادها به عنوان تجهیزات کاربر شبکه بی سیم.....
۳۳	۲-۲-۳- پهپادها به عنوان رله.....
۳۴	۲-۳- پهپاد در مخابرات مشارکتی.....
۳۵	۲-۳-۱- مروری بر ادبیات موضوع.....
۳۷	فصل ۳: روش تحقیق
۳۸	۳-۱- مقدمه.....
۳۹	۳-۲- مدلسازی سیستم.....
۴۱	۳-۳- الگوریتم های انتخاب پهپاد.....
۴۲	۳-۳-۱- انتخاب پهپاد براساس الگوریتم میانگین هارمونیک (HM).....
۴۴	۳-۳-۲- انتخاب پهپاد براساس الگوریتم بهترین SNR در لینک پایین (BDS).....
۴۵	۳-۳-۳- بررسی پیچیدگی الگوریتم ها.....
۴۶	۳-۴- بررسی احتمال قطع، احتمال پوشش و گذردهی سراسری.....
۴۶	۳-۴-۱- احتمال قطعی.....

۴۸	۳-۴-۲- احتمال پوشش
۴۸	۳-۴-۳- بررسی گذردهی
۴۹	۳-۵- حداکثر کردن گذردهی
۴۹	۳-۵-۱- بهینه کردن بهترین موقعیت پهباد.....
۵۰	۳-۵-۲- ساده سازی مسئله بهینه سازی و بدست آوردن زیربهینه.....
۵۳	3-6- بحث و نتایج.....
۵۴	۳-۶-۱- شبیه سازی الگوریتم های انتخاب HM, BDS.....
۵۴	۳-۶-۲- شبیه سازی احتمال قطع و پوشش
۵۶	۳-۶-۳- شبیه سازی گذردهی.....
۵۸	۳-۶-۴- شبیه سازی بهینه سازی گذردهی بر اساس مختصات پهباد.....

فصل ۴: جمع بندی و نتیجه گیری

۶۰	
۶۱	۴-۱- مقدمه.....
۶۱	۴-۲- محتوا.....
۶۱	۴-۲-۱- جمع بندی.....
۶۲	۴-۲-۲- پیشنهادها.....

مراجع

۶۸	پیوست ها
۶۹	پیوست ۱
۷۲	پیوست ۲
۷۴	پیوست ۳

فهرست اشکال

- شکل ۱ - تاریخچه تکامل پهپادها..... ۱۲
- شکل ۲ تفاوت سیستم‌های انبوه آنتنی با نسل‌های قبل در پوشش کاربران هوایی..... ۱۳
- شکل ۳ پایانه‌های رله‌های مشارکتی [۱]..... ۱۵
- شکل ۴ دسته‌بندی رله‌های مشارکتی..... ۱۶
- شکل ۵ نمایشی از روش AF..... ۲۳
- شکل ۶ نمایشی از روش DF..... ۲۶
- شکل ۷ سیستم مدل..... ۲۷

فهرست جداول

..... ٤٠	..... ١	معادله ١
..... ٤٠	..... ٢	معادله ٢
..... ٤٠	..... ٣	معادله ٣
..... ٤٠	..... ٤	معادله ٤
..... ٤١	..... ٥	معادله ٥
..... ٤١	..... ٦	معادله ٦
..... ٤١	..... ٧	معادله ٧
..... ٤٢	..... ٨	معادله ٨
..... ٤٢	..... ٩	معادله ٩
..... ٤٢	..... ١٠	معادله ١٠
..... ٤٣	..... ١١	معادله ١١
..... ٤٣	..... ١٢	معادله ١٢
..... ٤٤	..... ١٣	معادله ١٣
..... ٤٤	..... ١٤	معادله ١٤
..... ٤٧	..... ١٥	معادله ١٥
..... ٤٧	..... ١٦	معادله ١٦
..... ٤٧	..... ١٧	معادله ١٧
..... ٤٨	..... ١٨	معادله ١٨
..... ٤٨	..... ١٩	معادله ١٩
..... ٤٨	..... ٢٠	معادله ٢٠
..... ٤٨	..... ٢١	معادله ٢١
..... ٤٩	..... ٢٢	معادله ٢٢
..... ٥١	..... ٢٣	معادله ٢٣
..... ٥١	..... ٢٤	معادله ٢٤
..... ٥١	..... ٢٥	معادله ٢٥
..... ٥١	..... ٢٦	معادله ٢٦
..... ٥١	..... ٢٧	معادله ٢٧

فصل ۱ :

مقدمه ای بر UAV و مخابرات مشارکتی

۱-۱- مقدمه

مخابرات بی سیم به بخش جدانشدنی از زندگی روزمره انسانها تبدیل شده است. با وجود انبوهی از دستگاه‌هایی که لازم است به یکدیگر متصل شوند مانند تلفن‌های همراه هوشمند، لپ‌تاپ‌ها، پوشیدنی‌های هوشمند، و انواع سنسورها و وسایل نقلیه هوشمند، به روشی امن و سیستمی کارآمد و تا حد ممکن بی‌نقص برای ایجاد ارتباط نیاز است، بنابراین یکی از موضوعات مهم در شبکه‌های مخابراتی ایجاد بستر لازم برای اتصال تعداد بسیار زیادی از کاربران است [۱]. یکی از چالش‌های مرتبط با مخابرات بی سیم مسئله فیدینگ است که به علت مشخصه‌های متغیر با زمان کانال‌ها، موانع موجود در لینک مخابراتی و فاصله (متغیر) بین فرستنده و گیرنده، به وجود می‌آید چالش دیگر تداخل بر روی لینک مخابراتی است که از این حقیقت ناشی می‌شود که معمولاً در مخابرات بی سیم لینک مستقیم و ایزوله شده بین فرستنده و گیرنده وجود ندارد. در همان زمانی که فرستنده و گیرنده مورد نظر ما در حال ارسال اطلاعات به یکدیگر هستند، ممکن است در مجاورت آنها دستگاه‌های دیگری نیز با یکدیگر ارتباط داشته باشند و باعث تداخل در لینک‌ها شوند [۲].

در ادامه این کار با استفاده از پهنای باند و رله‌های مشارکتی اثر ترکیب این دو مورد را در بهبود میزان نرخ ارسالی، افزایش مقدار سیگنال به نویز، افزایش گذردهی و دیگر پارامترهای شبکه سلولی و مخابراتی و محدودیت‌های بیان شده بررسی می‌شود. در این فصل به بررسی جداگانه هر یک از موارد بالا یعنی پهنای باند و مخابرات مشارکتی و هر یک از پارامترهای نامبرده شده پرداخته می‌شود.

۱-۲- برخی تعاریف مخابراتی

• SNR :

نسبت سیگنال به نویز (SNR - Signal to Noise ratio) معیاری برای نمایش میزان سیگنال مفید در مقابل سیگنال مزاحم (یا نویز) در سیستم‌های الکتریکی است. این عدد، نسبت توان سیگنال به توان نویز است، و آن را بر حسب دسی‌بل (dB) بیان می‌کنند. نسبت بالاتر از ۱:۱ (بیشتر از ۰ دسی‌بل) نشانگر سیگنال بیشتر از نویز است. معمولاً مقدار کمتر از ۱۲ dB نشان‌دهنده مشکل جدی نویز در خطوط انتقال است، مقدار بالاتر از ۲۰ dB رضایت‌بخش، و مقدار بالاتر از ۳۰ dB مناسب است. در واقع این شاخص هرچه بیشتر باشد، وضعیت بهتر بوده و نشان‌دهنده شدت سیگنال مفید بیشتری است.

$$SNR \equiv \frac{P_{signal}}{P_{noise}}$$
$$SNR(dB) = 10 \log \left(\frac{P_{signal}}{P_{noise}} \right)$$

• اتلاف مسیر:

در سیستم‌های مخابراتی نقطه به نقطه که فرستنده از طریق یک محیط بیسیم یک سیگنال الکترومغناطیسی به گیرنده ارسال می‌کند این سیگنال با طی مسیر تضعیف می‌شود و در مسیرهای طولانی حتی نیاز است این سیگنال چند بار در بین مسیر تقویت شود. در مواردی که فاصله بین فرستنده و گیرنده تغییر می‌کند این تضعیف نیز متغیر است. این اصطلاح معمولاً در ارتباطات بی‌سیم و انتشار سیگنال استفاده می‌شود. از دست دادن مسیر ممکن است به دلیل بسیاری از اثرات مانند از دست دادن فضای آزاد، شکست، پراش، انعکاس، از دست دادن کوپلینگ دیافراگم و متوسط و جذب باشد. از دست دادن مسیر نیز تحت تأثیر خطوط زمین، محیط (شهری یا روستایی، پوشش گیاهی و شاخ و برگ)، محیط انتشار (هوای خشک یا مرطوب)، فاصله بین فرستنده و گیرنده، و ارتفاع و محل آنتن‌ها قرار می‌گیرد.

سیگنال تابش شده توسط یک فرستنده همچنین ممکن است در طول مسیرهای مختلف و متعددی به طور همزمان به یک گیرنده حرکت کند. این اثر چند مسیری نامیده می‌شود. امواج چند مسیره در آنتن گیرنده ترکیب می‌شوند و منجر به سیگنال دریافتی می‌شوند که ممکن است

بسته به توزیع شدت و زمان انتشار نسبی امواج و پهنای باند سیگنال ارسالی، بسیار متفاوت باشد. قدرت کلی امواج تداخلی در سناریوی محو شدن ریلی به سرعت به عنوان تابعی از فضا (که به عنوان محو شدن در مقیاس کوچک شناخته می شود) تغییر می کند. محو شدن در مقیاس کوچک به تغییرات سریع در دامنه سیگنال رادیویی در یک دوره زمانی کوتاه یا مسافت سفر اشاره دارد. مهندسان رادیو و آنتن از فرمول ساده شده زیر (برگرفته از فرمول انتقال فریس) برای از دست دادن مسیر سیگنال بین نقاط تغذیه دو آنتن همسانگرد در فضای آزاد استفاده می کنند:

$$P_L = \frac{P_t}{P_r} = \frac{\left(\frac{4\pi}{\lambda}\right)^2}{d^{-\alpha}}$$

$$P_L (dB) = 10 \log \left(\frac{P_t}{P_r} \right)$$

که در آن P افت مسیر، لامبدا طول موج، α ضریب اتلاف مسیر است که با توجه به محیط مقداری بین ۲ تا ۴ میگیرد. و d فاصله فرستنده و گیرنده در واحدهای مشابه طول موج است. توجه داشته باشید که چگالی توان در فضا هیچ وابستگی به لامبدا ندارد. متغیر لامبدا در فرمول وجود دارد تا منطقه جذب موثر آنتن گیرنده همسانگرد را در نظر بگیرد.

البته از مدل های مختلفی برای اتلاف مسیر استفاده می شود برای مثال ما در فصل بعد با استفاده از رابطه بالا اتلاف مسیر را مدل کرده ایم.

• توان عملیاتی (گذردهی)

توان عملیاتی یا گذردهی اشاره به نرخ تحویل موفقیت آمیز پیام از طریق یک کانال ارتباطی، مانند اترنت یا رادیو بسته، در یک شبکه ارتباطی دارد. توان عملیاتی معمولاً بر حسب بیت در ثانیه (bit/s) یا (bps) و گاهی اوقات در بسته های داده در ثانیه (p/s) یا (pps) یا بسته های داده در هر شکاف زمانی اندازه گیری می شود.

توان عملیاتی سیستم یا مجموع توان عملیاتی، مجموع نرخ های داده ای است که به تمام پایانه های یک شبکه تحویل داده می شود. توان عملیاتی اساساً مترادف با مصرف پهنای باند دیجیتال است. می توان آن را به صورت عددی با استفاده از تئوری صف تعیین کرد، که در آن بار بسته ها در واحد زمان با نرخ رسیدن (λ) و کاهش بسته ها در واحد زمان به عنوان نرخ خروج (μ) نشان داده می شود.

توان عملیاتی یک سیستم ارتباطی ممکن است تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار گیرد، از جمله محدودیت های رسانه فیزیکی آنالوگ زیربنایی، قدرت پردازش در دسترس اجزای سیستم، رفتار کاربر نهایی و غیره. هنگام در نظر گرفتن سربار پروتکل های مختلف، نرخ مفید انتقال داده می تواند به طور قابل توجهی کمتر از حداکثر توان قابل دستیابی باشد. بخش مفید معمولاً به عنوان Goodput نامیده می شود.

- حداکثر توان عملیاتی

کاربران دستگاه های مخابراتی، طراحان سیستم ها و محققان در تئوری ارتباطات اغلب علاقه مند به دانستن عملکرد مورد انتظار یک سیستم هستند. از منظر کاربر، این اغلب به صورت «کدام دستگاه داده های من را برای نیازهای من به طور مؤثرتر دریافت می کند؟» یا «کدام دستگاه بیشترین داده را در هر واحد هزینه ارائه می دهد؟» بیان می شود. طراحان سیستم ها اغلب علاقه مند به انتخاب مؤثرترین معماری یا محدودیت های طراحی برای یک سیستم هستند که عملکرد نهایی آن را هدایت می کند. در بیشتر موارد، معیار توانایی یک سیستم یا "حداکثر عملکرد" آن چیزی است که کاربر یا طراح به آن علاقه مند است. اصطلاح حداکثر توان به طور مکرر هنگام بحث در مورد تست های حداکثر توان مصرفی کاربر نهایی استفاده می شود. حداکثر توان در اصل مترادف ظرفیت پهنای باند دیجیتال است.

چهار مقدار مختلف در زمینه «حداکثر توان عملیاتی» مرتبط هستند، که در مقایسه عملکرد مفهومی «حد بالایی» چندین سیستم استفاده می شود. آنها عبارتند از "حداکثر توان عملیاتی نظری"، "حداکثر توان قابل دستیابی"، و "پیک اندازه گیری توان عملیاتی" و "حداکثر توان عملیاتی پایدار". این مقادیر مقادیر متفاوتی را نشان می دهند، و باید مراقب بود که در مقایسه مقادیر مختلف «حداکثر توان عملیاتی» از تعاریف یکسانی استفاده شود. برای مقایسه مقادیر توان عملیاتی، هر بیت باید همان مقدار اطلاعات را داشته باشد. فشرده سازی داده ها می تواند محاسبات توان عملیاتی را به طور قابل توجهی تغییر دهد، از جمله ایجاد مقادیر بیش از ۱۰۰٪

در برخی موارد. اگر ارتباط توسط چندین لینک به صورت سری با نرخ بیت متفاوت انجام شود، حداکثر توان عملیاتی پیوند کلی کمتر یا مساوی با کمترین نرخ بیت است. پایین ترین لینک در این سری به عنوان گلوگاه شناخته می شود.

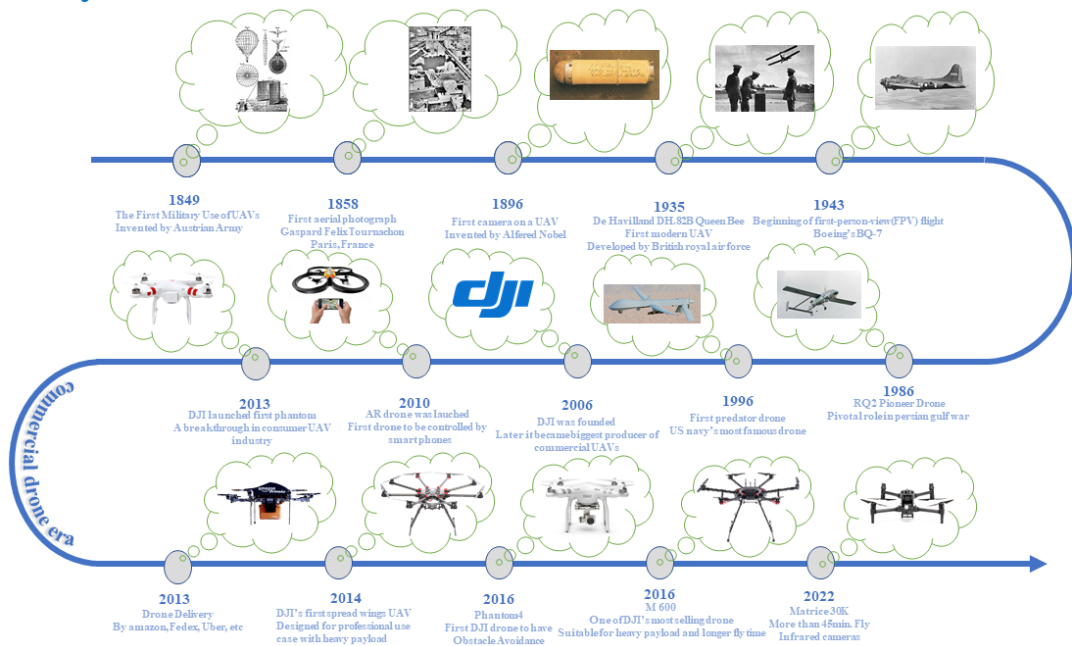
- حداکثر توان عملیاتی تئوری

این عدد ارتباط نزدیکی با ظرفیت کانال سیستم دارد، و حداکثر مقدار ممکن داده ای است که می تواند در شرایط ایده آل منتقل شود. در برخی موارد این عدد برابر با ظرفیت کانال گزارش می شود، اگرچه این می تواند فریبنده باشد، زیرا تنها سیستم های بسته بندی نشده (ناهمزمان) فناوری ها می توانند بدون فشرده سازی داده به این کار دست یابند. حداکثر توان عملیاتی نظری با در نظر گرفتن فرمت و سر بار مشخصات با بهترین فرضیات با دقت بیشتری گزارش می شود. این عدد، مانند عبارت بسیار مرتبط «حداکثر توان قابل دستیابی» در زیر، عمدتاً به عنوان یک مقدار محاسبه شده تقریبی، مانند تعیین مرزهای عملکرد ممکن در اوایل مرحله طراحی سیستم، استفاده می شود.

۳-۱- پهنای

امروزه پهنایها در کاربردهای مختلف به کار گرفته می شود. آنچه در خصوص پهنایهای غیرنظامی کنونی متداول است ارتباط بین پرنده و گیرنده زمینی آن از طریق یک لینک مخابراتی مستقیم بین آنها برقرار می شود. به همین دلیل پهنایهای غیر نظامی برد بسیار محدودی دارند. یک راه حل برای حل این مشکل اتصال پهنای و گیرنده آن به تجهیزات شبکه مخابرات سلولی است. با اینکار در تمام نقاطی که پوشش شبکه سلولی وجود دارد پهنای و کاربر می توانند از طریق زیرساخت های شبکه سلولی با یکدیگر تبادل اطلاعات و داده های کنترلی داشته باشند.

History of UAV



شکل ۱ - تاریخچه تکامل پهپادها

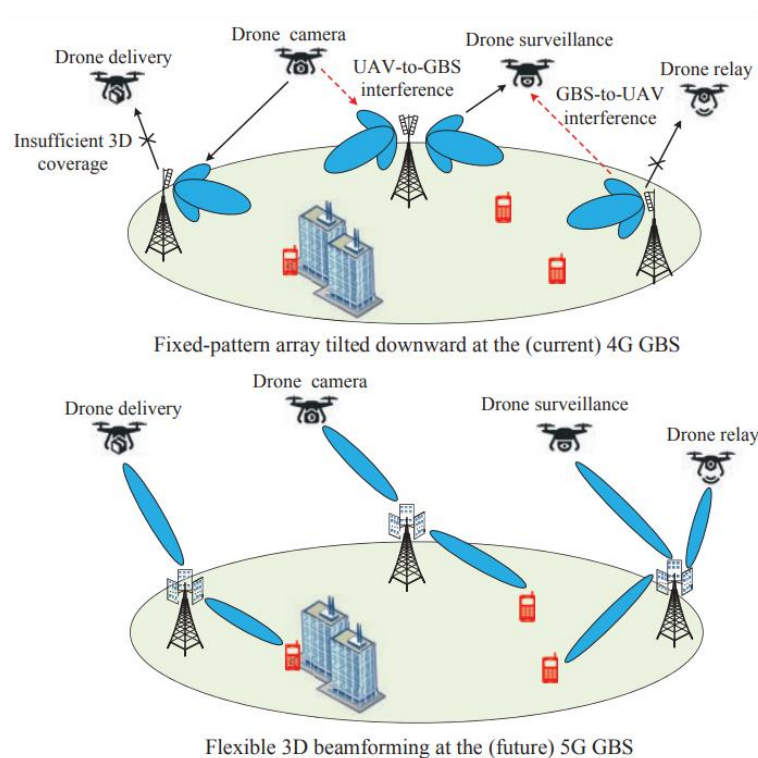
از طرفی با ظهور ظهور شبکه‌های نسل پنجم و طراحی و پیاده‌سازی فرستنده‌های مخابراتی انبوه آنتنی^۱ امکان برقراری ارتباط با کاربران و گیرنده‌های با ارتفاع زیاد ایجاد شده است که در نسل‌های قبل به راحتی انجام نمی‌شد. علت این امر این است که در سیستم‌های انبوه آنتنی به علت تعداد بالای آنتن‌ها انجام پرتودهی سه بعدی^۲ را فراهم می‌کند و بدون مایل کردن آنتن‌ها به سمت پایین می‌توان سیگنال را به سمت کاربران زمینی یا هوایی متمرکز کرد. شکل زیر چگونگی امکان خدمات‌رسانی به کاربران هوایی را نشان می‌دهد. به همین دلیل در شبکه‌های نسل پنجم توجه ویژه‌ای بر روی توسعه سرویس مخابراتی برای کاربران/فرستندگان هوایی مانند پهپادها^۳ شد است. در تحقیق‌ها پهپادها معمولاً در دو نقش مورد بررسی قرار می‌گیرند، پهپاد در خدمت مخابرات یا مخابرات در خدمت پهپاد. به عبارت دیگر می‌توان پهپاد را مانند یک کاربر در نظر گرفت و بررسی کرد شبکه نسل پنجم چگونه می‌تواند به تقویت ارتباط پهپادها کمک کند و یا پهپادها را با نصب تجهیزات مناسب تبدیل به یک فرستنده مخابراتی کرد و بررسی کرد چگونه بر پارامترهای مخابراتی مانند پوشش و ظرفیت شبکه اثر می‌گذارد. در این پروژه به بررسی مورد دوم پرداخته می‌شود. از طرف دیگر برای نصب تجهیزات مخابراتی بر روی پهپادها چالش‌هایی وجود دارد. تجهیزات مخابراتی مانند آنتن‌ها و سایر ادوات و مدارات فرکانس بالا به علت وزن زیاد و مصرف توان پردازشی بالایی که دارند عمر مفید پرواز مداوم پهپادهای متداول را که در ارتفاعات پایین‌تر پرواز می‌کنند به شدت کاهش

^۱ Massive MIMO

^۲ 3D Beamforming

^۳ a.k.a UAVs

می‌دهند و به عبارتی بهره‌وری انرژی پایینی دارند. هر چند محققان برای خفیف کردن این اثر در حال طراحی باتری و به طور کلی منابع تامین توان قوی‌تر برای پهپادها و کارهایی از این دست هستند اما در صورت امکان استفاده از تجهیزات سبک‌تر با پردازشی پایین‌تر می‌توان با پهپادهای امروزی هم پیاده‌سازی‌ها را شروع کرد.



شکل ۲ تفاوت سیستم‌های انبوه آنتنی با نسل‌های قبل در پوشش کاربران هوایی

۴-۱- مخابرات مشارکتی

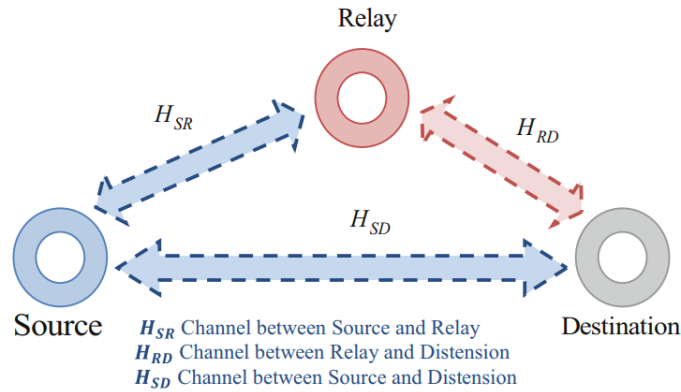
در سیستم‌های مخابرات بی‌سیم، محوشدگی سیگنال ناشی از انتشار چند مسیره، یکی از اثرات نامطلوب کانال‌های مخابراتی محسوب می‌شود. لذا یکی از مسائل مهم در مخابرات بی‌سیم طراحی تکنیک‌هایی است که با این اثر نامطلوب مقابله کند. با استفاده از تکنیک‌های مختلفی از جمله دایورسیتی می‌توان با اثر محوشدگی کانال مقابله کرد. در این تکنیک با استفاده از ارسال سمبل‌های اطلاعات از طریق دو یا چند کانال مخابراتی مستقل، گیرنده چندین نسخه سیگنال ارسالی را از مسیرهای مختلف دریافت می‌کند و لذا با استفاده از روش‌های آشکارسازی و نسخه‌های مختلف دریافتی از سیگنال ارسالی، می‌توان به افزایش اطمینان مطلوب در سیستم رسید. در حقیقت، دایورسیتی باعث افزایش قابلیت اطمینان سیگنال مخابرات از طریق استفاده از چند کانال مخابراتی می‌شود. دایورسیتی نقش مهمی را در ترکیب محوشدگی و تداخل

فرکانسی دارد. دایورسیتی را میتوان در چند دسته دایورسیتی زمانی، دایورسیتی فرکانسی و دایورسیتی فضایی تقسیم‌بندی کرد [۳].

یکی از تکنیک‌های رایج دایورسیتی فضایی، استفاده کردن از سیستم‌های چند ورودی چند خروجی است. اگرچه استفاده از چند آنتن تحقیق دایورسیتی فضایی مزیت بزرگی به حساب می‌آید، اما پیاده‌سازی این ایده، در بسیاری از موارد به دلیل محدودیت‌های نظیر اندازه هزینه و ... غیر ممکن است. برای حل این مشکل ایده‌ی مخابرات مشارکتی رله ای مطرح شد. در این سیستم‌ها، کاربران تک آنتنه می‌توانند آنتن‌های خود را به اشتراک گذاشته و هرکدام نه تنها اطلاعات خود را ارسال می‌کنند، بلکه در رساندن اطلاعات به گیرنده هم کمک می‌کند در حقیقت، در این روش هر کاربر از کاربران مجاور خود برای ارسال اطلاعات خویش استفاده می‌کند. به این معنی هر کاربر اطلاعات خود را علاوه بر مقصد برای سایر کاربران ارسال می‌کند. این کاربران سیگنال دریافتی از فرستنده را پس از اعمال تغییراتی (با توجه به نوع پروتکل) برای گیرنده ارسال می‌کنند. در نتیجه سیگنال‌های حاوی اطلاعات هر کاربر از طریق مسیرهای مختلف به مقصد رسیده و موجب ایجاد چندگانگی فضایی می‌شود. به این کار چندگانگی مشارکتی گفته می‌شود. به عبارت دقیق‌تر هر یک از کاربران، علاوه بر اینکه اطلاعات خود را ارسال می‌کند، نقش رله را برای سایر کاربران بازی می‌کنند [۳]. بنابراین در این سیستم‌ها گیرنده (مقصد) هر پیام مبدا را علاوه بر مسیر مستقیم، از طریق رله نیز دریافت می‌کند.

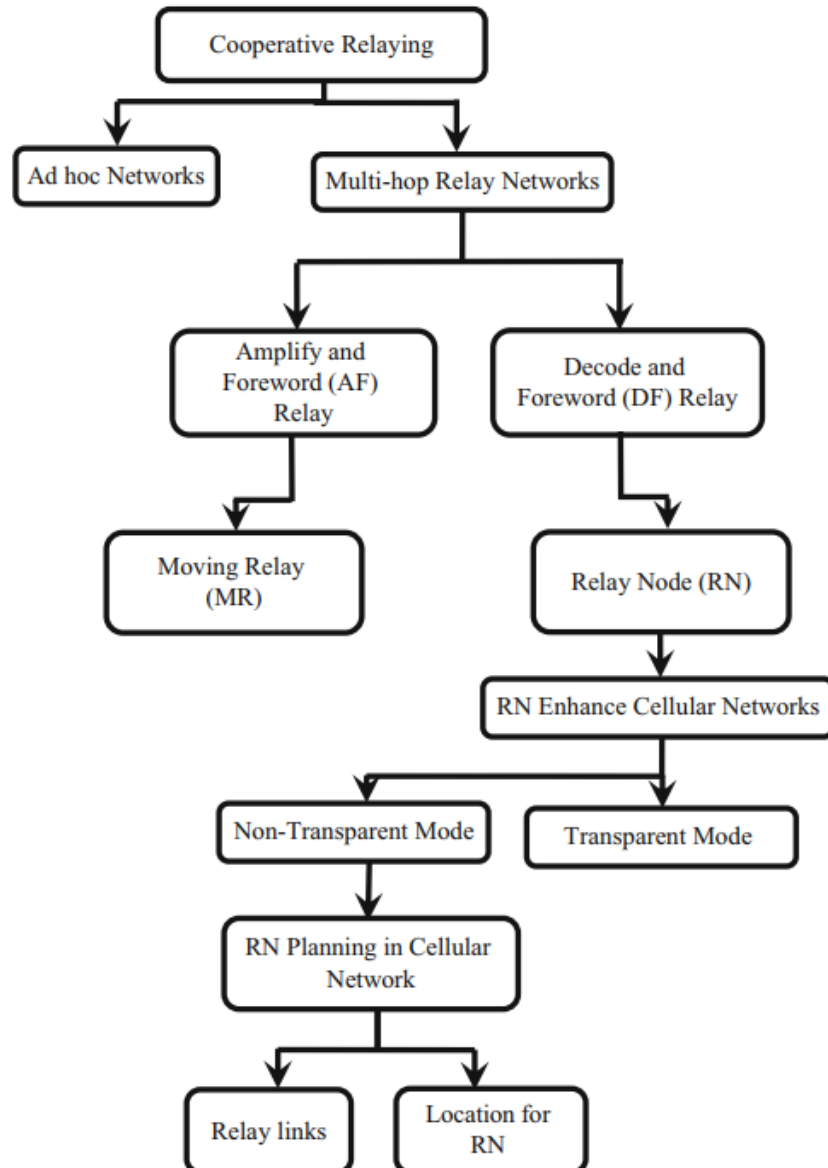
۱-۴-۱- رله‌های مشارکتی

فناوری رله مشارکتی به عنوان مفهوم اساسی رله بصورت سه پایانه پیشنهاد شده است: منبع، رله و مقصد همانطور که در شکل ۲.۴ نشان داده شده است. منبع، یک سیگنال را هم به رله و هم به مقصد ارسال می‌کند، در حالی که رله این سیگنال را به مقصد بازپخش می‌کند. پس از آن، مقصد این سیگنال‌های دریافتی را از منبع و رله برای بهبود قابلیت اطمینان ترکیب می‌کند [۱].



شکل ۳ پایانه های رله های مشارکتی [۱].

رله مشارکتی تکنیکی برای ارتباطات بی سیم است که نوید افزایش توان و ظرفیت را می دهد و به پایانه های ارتباطی در یک شبکه اجازه می دهد تا انتقال اطلاعات را از یکدیگر دریافت کرده و به آنها کمک کنند. انتقال مشارکتی مبتنی بر بهره برداری از مزیت ماهیت پخش ارتباطات بی سیم است [۲]. انتقال مشارکتی برای ارتباطات بی سیم به یکی از حوزه های تحقیقات فعال برای بیش از سه دهه تبدیل شده است [۳]. مدل کلاسیک کانال رله که شامل یک منبع، یک رله و یک مقصد است، اولین بار توسط ون درمولن (۱۹۷۱) [۴] معرفی شد. او مرزهای بالایی و پایینی ظرفیت کانال رله را کشف کرد و مشاهدات زیادی ارائه کرد که منجر به بهبود نتایج او شد. در سال های بعد، کاور و جمال (۱۹۷۹) [۵] به طور قابل توجهی مشاهدات مولن را زمانی که یک حد پایین قابل دستیابی به ظرفیت کانال رله عمومی ایجاد کردند بهبود بخشیدند. با این حال، مفروضات ضمنی (کاور و جمال، ۱۹۷۹؛ ون درمولن، ۱۹۷۱) برای رسانه بی سیم غیر واقعی هستند، زیرا با پیشرفت های فعلی در سیستم های ارتباطی سازگار نیستند [۶]. در سناریوی مسیریابی، رله های مشارکتی دارای دو دسته اند، شبکه های Ad-Hoc و رله چندپرسی [۷]. که از یک گره مستقل به نام گره رله (RN) یا گاهی اوقات به عنوان ایستگاه رله (RS) استفاده می کنند. در شبکه Ad Hoc، تجهیزات کاربر (UE) به عنوان یک پایه و یک گیرنده برای هدایت اطلاعات به مقصد خود عمل می کند [۷]. در بخش بعد به طور خلاصه شبکه های Ad Hoc و رله چندپرسی را توضیح داده می شود.



شکل ۴ دسته بندی رله های مشارکتی

۱. شبکه های Ad-hoc

شبکه های ad hoc که شبکه های مش نیز نامیده می شوند، با نحوه سازماندهی گره های شبکه برای ارائه مسیریابی برای هدایت داده ها از کاربر به مقصد مورد نظر تعریف می شوند. شبکه های Ad hoc اساساً آن دسته از شبکه هایی هستند که ایستگاه پایه (BS) ندارند. به عبارت دیگر، هر دستگاه (یا گره) در شبکه می تواند به عنوان یک پایه و یک گیرنده عمل کند [۸].

یک شبکه موقت چندپرسی که صرفاً از کاربران تلفن همراه تشکیل شده است به عنوان شبکه های Ad Hoc موبایل^۱ (MANETs) شناخته می شود، که در آن هر گره می تواند نقش یک گره واسطه را ایفا

کند، که پیام‌ها را از گره‌های دیگر به سمت مقصد خود ارسال می‌کند و با استفاده از یک جهش تکی قابل دسترسی نیست [۷].

MANET ها شامل گروهی از گره‌های سیار هستند که بدون نیاز به زیرساخت بی سیم ثابت با هم ارتباط برقرار می‌کنند. بنابراین ارتباط بین گره‌ها با اتصال مستقیم اجرا می‌شود. انتظار می‌رود برخی از گره‌ها در شبکه به مسیریابی بسته‌ها کمک کنند و همه میزبان‌ها اجازه دارند آزادانه در شبکه حرکت کنند. پروتکل‌های مسیریابی موفق روش‌هایی را معرفی می‌کنند که بسته‌ها را به گره‌های مقصد با توجه به این توپولوژی‌های پویا ارائه می‌کنند [۹].

شبکه Ad hoc مزایای زیادی دارد. اول، فقط به یک فرستنده پایه ثابت نیاز دارد. دوم، شبکه Ad hoc از شبکه اصلی غیرمتمرکز است و در گره‌ها و مسیریاب‌ها پیکربندی می‌شود. بنابراین، با پیکربندی مجدد مداوم، توانایی خود بهبودی را دارد [۹]. در نهایت، شبکه Ad hoc برای جذب گره‌های اضافه مقیاس پذیر است و برای دسترسی به اینترنت از مکان‌های مختلف انعطاف پذیر است [۷]. عیب اصلی شبکه Ad hoc این است که باید گره‌هایی در محدوده انتقال وجود داشته باشد. اگر این گره‌ها در دسترس نباشند، کل شبکه از کار می‌افتد [۸]. علاوه بر این، در توان عملیاتی (گذردهی) تحت تأثیر بارگذاری سیستم^۱ نرخ داده کمتری وجود دارد و همچنین برای شبکه‌های بزرگ، تأخیر بیش از حد (تأخیر زمانی) قرار می‌گیرد [۷].

۲. رله چند پرشی

سیستم‌های سلولی به طور معمول از یک پرش بین کاربر (UE) و ایستگاه پایه (BS) استفاده می‌کنند. توان عملیاتی کم در ناحیه لبه سلولی به یک نگرانی عمده برای برنامه ریزان شبکه سلولی تبدیل شده است [۱۰]. راه حل موثر برای مشکل بهبود پوشش و ظرفیت، استفاده از سلول‌های کوچک بین منبع و مقصد است [۱۱].

تکرار کننده‌های آنالوگ در شبکه‌های سلولی برای کمک به بهبود پوشش به مناطقی که BS نمی‌تواند پوشش دهد استفاده می‌شود. دراکریکی از اولین کسانی بود که از اصطلاح تکرار کننده سلولی استفاده کرد و به ایده استفاده از رله به عنوان تکرار کننده برای گسترش پوشش شبکه سلولی پرداخت [۱۲].

¹ System Loading

در سال‌های اخیر، شبکه‌های مبتنی بر رله Multi-hop به یک حوزه مورد علاقه تحقیقاتی قابل توجه در صنعت و دانشگاه تبدیل شده‌اند. انتقال اطلاعات از طریق چند پرش قدرت انتقال کلی شبکه را بدون از دست دادن قابلیت اطمینان کاهش می‌دهد و در نتیجه عمر باتری را افزایش می‌دهد [۱۳].

به منظور رویارویی با رشد سریع ارتباطات بی‌سیم، که مستلزم نرخ داده‌های بالاتر و پیوند انتقال مطمئن‌تر و در عین حال حفظ کیفیت خدمات (QoS) است، محققان بر روی سناریوهای رله Multihop تمرکز کرده‌اند. Multihop یک راه حل کم هزینه است که طیف گسترده‌ای از خدمات را در شبکه‌های بی‌سیم نسل بعدی ارائه می‌دهد. می‌تواند فاصله انتقال را کاهش دهد و تعداد کاربران را در شرایط کانال افزایش دهد تا کیفیت لینک بهتر و توان عملیاتی بالاتری داشته باشد [۱۴].

رله Multihop یکی از کلیدهای بهبود است که در LTE-A برای بهبود عملکرد 3GPP-LTE از نظر افزایش ظرفیت و افزایش پوشش معرفی شده است [۱۵].

- از مزایای رله Multihop میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. کاهش در توان انتقال کل: کل توان مصرفی از طریق رله چند پرشی کمتر از انتقال مستقیم است [۱۳].

۲. افزایش ظرفیت شبکه: کاهش توان انتقال منجر به کاهش شعاع پوشش BS در شبکه رله Multihop در مقایسه با تک‌هاپ می‌شود. بنابراین، در نتیجه استفاده مجدد از فواصل کوتاه‌تر، می‌توان از طیف‌ها بیشتر استفاده کرد و ظرفیت شبکه را افزایش داد. این شبیه به شبکه‌های سلولی کوچک است که در آن ناحیه پوشش با بازده طیفی رابطه معکوس دارد [۷].

۳. خدمات توان عملیاتی بالاتر: به طور معمول در شبکه سلولی، UE های نزدیک به BS می‌توانند از خدمات توان عملیاتی بالا بهره‌مند شوند، در حالی که آنهایی که دور از BS هستند، به دلیل محدودیت‌های برق، خدمات توان عملیاتی پایینی خواهند داشت. با این حال، با رله Multihop، کاربران دور از BS هنوز هم می‌توانند به سرویس‌هایی با توان عملیاتی بالا دسترسی داشته باشند که داده‌های آنها می‌تواند از طریق شبکه‌های Multihop قابل انتقال باشد [۱۶ و ۱۷].

۴. متعادل کردن بار ترافیک: توزیع نامتعادل ترافیک، که مدیریت اختصاص ظرفیت‌ها را پیچیده می‌کند. این بدان معناست که برخی از سلول‌ها کانال‌های کافی در دسترس دارند در حالی که سلول‌های دیگر به شدت شلوغ هستند، حتی اگر بار ترافیک به حداکثر ظرفیت برنامه ریزی شده برای شبکه سلولی نرسیده باشد. بنابراین، برخی از کاربران ممکن است به دلیل اشباع سلول‌های

شلوغ در شبکه مسدود شوند. رله Multihop به عنوان یک راه حل ممکن در نظر گرفته می شود زیرا اجازه می دهد تا ترافیک سلول های متراکم به سلول های غیر متراکم دیگر منتقل شود. به همین دلیل، احتمال مسدود شدن تماس در نقطه شبکه را می توان به دلیل تعادل بار بین سلول ها کاهش داد [۱۸].

۵. کاهش ظرفیت گلوگاه: فرآیند ارتباط همتا به همتا در سیستم های چند پرشی بدون دخالت BS، ظرفیت گلوگاه بالقوه را کاهش می دهد که می تواند به دلیل کانال های محدود موجود برای BS در سیستم تک پرشی افزایش یابد [۱۸ و ۱۹].

۶. افزایش پوشش شبکه: بهبود ظرفیت و افزایش سطح پوشش در شبکه های سلولی از مزایای اصلی شبکه های رله Multihop به دلیل کاهش اثر از دست دادن مسیر و بهبود قدرت سیگنال دریافتی (RSS) در UE هایی که در مناطق مرده شبکه های سلولی قرار دارند [۱۰]. نقاط مرده ممکن است شامل نواحی نزدیک مرز سلول، نواحی با محو شدگی عمیق (به عنوان مثال، پشت ساختمان یا تونل) یا مناطقی باشد که تداخل زیاد مانع از دریافت واضح سیگنال های سلولی می شود [۷].

۷. بهبود قابلیت اطمینان مسیریابی: در شبکه های Ad hoc خالص، مسیر مسیریابی اغلب در برابر تحرک گره و خرابی گره آسیب پذیر است، در حالی که در Multihop Relay تصمیمات مسیریابی را می توان توسط BSs هوشمند کنترل کرد [۷].

- از معایب رله Multihop میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. افزایش پیچیدگی شبکه: شبکه های رله Multihop ایستگاه های کوچکی هستند که با ایستگاه های اصلی در شبکه ترکیب می شوند. بنابراین، پیچیدگی شبکه از نظر انتقال، مسیریابی و تخصیص منابع برای ارتباطات همتا به همتا در مقایسه با تک هاپ یا MANET افزایش یافته است. علاوه بر این، BS اصلی ممکن است به یک مکانیسم مسیریابی دقیق برای تعداد زیادی UE نیاز داشته باشد، با MANET های بسیار بزرگتر از معمولی برای بهره برداری از مزایای رله [۲۰].
۲. افزایش تداخل: استفاده از رله Multihop مطمئناً تداخل اضافی درون سلولی و بین سلولی ایجاد می کند، که ممکن است به طور بالقوه باعث بدتر شدن عملکرد سیستم شود.

۳. تأخیر: در ارسال های چند پرشی، بسته ها قبل از ارسال به مقصد، در رله ها بافر می شوند. در نتیجه، تاخیرهای سرتاسری در مقایسه با انتقال تک هاپ بیشتر است، به ویژه زمانی که ازدحام به دلیل بارهای ترافیکی بالا رخ می دهد [۲۱].

۲-۴-۱- مفهوم گره رله

انتشار سیگنال از طریق یک کانال بی سیم با محدودیت های بیشتری نسبت به سیم هدایت شده از جمله نویز افزایشی، چند مسیری، محو شدن، تداخل کانال همزمان و تداخل کانال مجاور مواجه است (راپاپورت، ۱۹۹۶). با این حال، امروزه به دلیل پلتفرم های مناسب، آزادی کاربر از اتصال فیزیکی و ارائه، قابل حمل بودن و انعطاف پذیری، انتقال بی سیم به بستر مناسبی برای انتقال اطلاعات تبدیل شده است. طراحی یک سیستم بی سیم قابل اعتماد به دلیل ماهیت تصادفی کانال های بی سیم و تنوع محیط هایی که احتمالاً در آن مستقر می شوند، دشوار است. سپس نسل بعدی سیستم های بی سیم به کیفیت صدای بالاتری در مقایسه با استانداردهای رادیویی تلفن همراه تلفن همراه فعلی نیاز دارند و باید خدمات داده با نرخ بیت بالاتر را با گسترش پوشش ارائه کنند. اخیراً فناوری LTE-A پیشرفت کرده است و ظرفیت بالا، تأخیر کم و پهنای باند انعطاف پذیر را ارائه می دهد. رله یکی از جنبه های اصلی LTE-A در نظر گرفته می شود که به سیستم اجازه می دهد تا از نظر پوشش و توان، خواسته ها را برآورده کند.

اکثر سرویس های بی سیم در LTE با بکارگیری فناوری های اخیراً توسعه یافته مانند آنتن چندورودی- چندخروجی (MIMO) و با استفاده از تقسیم فرکانس متعامد (OFDM) بهبود خدمات داده را فراهم می کنند. با این حال، در عمل هنوز مسائلی مانند حفره های پوشش به دلیل سایه، و سیگنال به نویز بعلاوه تداخل (SINR) برای کاربرانی که از BS دور هستند وجود دارد [۶].

یک راه حل برای این مشکلات، اضافه کردن ایستگاه های پایه (BS) بیشتر با ناحیه تحت پوشش کوچک است. با این حال، این یک راه حل بسیار پرهزینه است، به خصوص زمانی که کاربران کمی برای ارائه خدمات وجود داشته باشند (به عنوان مثال، در مناطق روستایی). علاوه بر این، این راه حل تداخل را افزایش می دهد. یک جایگزین برای افزودن BS های بیشتر، استقرار گره های رله کم هزینه است که یک راه مقرون به صرفه برای غلبه بر مشکل ارائه می دهد (RN ها نسخه ساده شده یک BS کامل هستند که به هزینه کمتری نیاز دارند). علاوه بر این، RN ها نیازی به اتصالات پشتیبان ندارند، بنابراین هزینه های عملیاتی را کاهش می دهند.

یک RN به صورت بی سیم از طریق یک سلول BS به شبکه دسترسی رادیویی متصل می شود و سیگنال های downlink و uplink را دریافت، تقویت می کند و سپس دوباره ارسال می کند تا بر مناطقی که پوشش ضعیف در سلول وجود دارد غلبه کند. RN یا در لبه سلول یا در منطقه دیگری که پوشش ضعیف است قرار دارد. برای رله مولتی هاپ یک سیگنال downlink از BS به RN و سپس به UE ها ارسال می شود، در حالی که یک سیگنال uplink از UE ها برمی گردد و از طریق RN و برگشت به BS ارسال می شود. پیوند رله بین BS و RN تعداد فزاینده ای از کاربران را تامین می کند [۲۳].

- مزایای اصلی به شرح زیر است:

۱. گسترش پوشش: پوشش سلول تحت تأثیر از دست دادن سیگنال انتقال است، به ویژه کاربر در لبه سلول. با این حال، یک گره رله می تواند به طور موثر پوشش شبکه را با تقویت سیگنال گسترش دهد.
۲. کیفیت خدمات (QoS): سیستم رله در حل اثرات محو شدگی کانال توسط دایورسیتی مشارکتی و به طور موثر افزایش استحکام انتقال با تضمین انتقال بین BS و کاربران موثر است.
۳. افزایش ظرفیت: برای شبکه های سلولی که دارای یک منطقه تحت پوشش گسترده هستند، با تقسیم افت مسیر به دو یا چند جهش، می توان با استفاده از رله به دستاوردهای عملکرد بالا دست یافت. این دستاوردها ظرفیت و نرخ انتقال بالاتری را فراهم می کند.

- معایب اصلی به شرح زیر است:

۱. افزایش تداخل: استفاده از رله ها تداخل اضافی درون سلولی و بین سلولی را ایجاد می کند که به طور بالقوه باعث بدتر شدن عملکرد سیستم می شود.
۲. پیچیدگی شبکه: رله ها پیچیدگی شبکه را از نظر انتقال، همپوشانی و تخصیص منابع برای ارتباطات همتا به همتا در مقایسه با تک هاپ افزایش می دهند.

۳-۴-۱- بهبود شبکه سلولی با گره رله

سیستم های سلولی در دهه های اخیر با ظهور فناوری های جدید و کارآمد دسترسی رادیویی و پیاده سازی تکنیک های پیشرفته برای پشتیبانی از افزایش ظرفیت و پوشش در شبکه های سلولی به طور چشمگیری تکامل یافته اند. اگرچه تلاش های زیادی در جامعه تحقیقاتی انجام شده است، معماری سلولی تک پرشی سنتی در ارائه QoS بالا و منصفانه در سراسر منطقه سلولی ناکام است. از آنجایی که اثر از دست دادن

انتشار، توزیع عادلانه قدرت سیگنال را در سراسر سلول تضمین نمی کند، به این معنی است که مناطق بزرگی وجود دارند که سطح سیگنال پایینی دارند، به خصوص در مرزهای سلول [۱۵].

یکی از راه حل های این مشکل افزایش تعداد ایستگاه های پایه است، به طوری که ایستگاه قادر است هر منطقه کوچکی را پوشش دهد. با این حال، افزایش تعداد BS ها مستلزم هزینه استقرار بالایی است و باعث تداخل بین سلولی بیشتر می شود. از این رو، یک راه حل مقرون به صرفه برای پوشش ناحیه مورد نیاز و در عین حال ارائه SINR بالا مورد نظر، برای کاربرانی که با متقاضی شبکه های سلولی آینده هستند، مورد نیاز است.

استفاده از پرش های متعدد از مبدا به مقصد، فاصله ارتباطی و از دست دادن سیگنال را در هر پرش کاهش می دهد و در نتیجه توانایی افزایش ظرفیت کلی انتقال چند پرش را در مقایسه با لینک های ارتباطی راه دور و تک هاپ می دهد [۱۰]. علاوه بر این، استفاده از گره های رله، کیفیت سیگنال را با جایگزینی پیوندهای Non-LOS با پرش های متعدد با شرایط انتشار LOS بهبود می بخشد [۲۵]، اخیراً علاقه فزاینده ای به ادغام قابلیت های Multihop Relay در شبکه های بی سیم سلولی افزایش یافته است.

۴-۴-۱- ارسال در مخابرات مشارکتی

روش های زیادی بر مبنای مفهوم رله برای ارسال مشارکتی طراحی شده اند. از جمله روش های ارسال رله، میتوان به روش کدگذاری و ارسال مجدد (DF)، تقویت کردن و ارسال مجدد (AF) و فشرده سازی و ارسال مجدد (CF) اشاره کرد. در ادامه به بررسی عملکرد دو روش رایج و پرکاربرد در مقالات AF و DF پرداخته میشود.

○ روش تقویت و ارسال مجدد

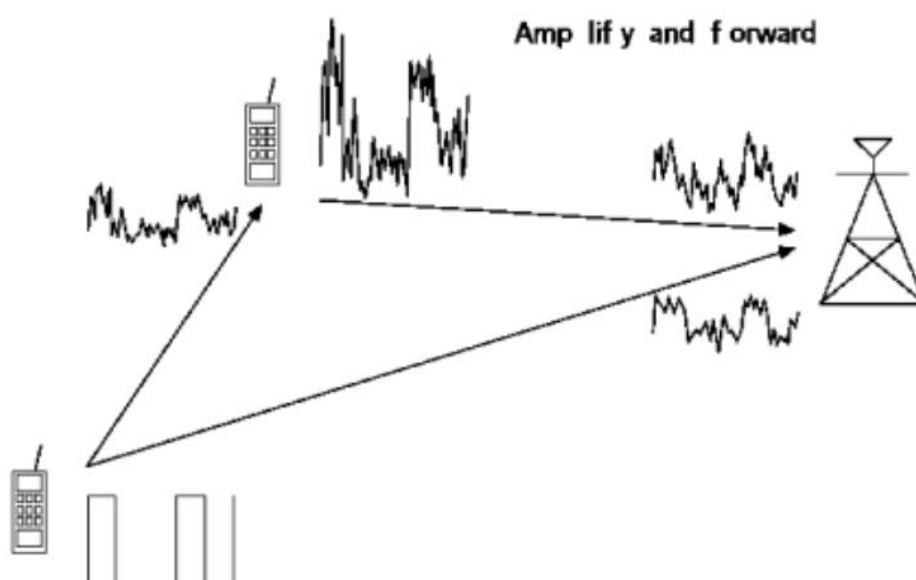
در این روش رله سیگنال آنالوگ دریافتی را تقویت و سپس آن را برای مقصد ارسال می نماید. رله AF نه تنها سیگنال مورد نظر را تقویت می کند، بلکه تداخل و نویز را نیز تقویت می کند که سطح کلی SINR را بدتر می کند و همچنین خروجی سیستم را محدود می کند. رله AF به دلیل فیلتر کردن، پردازش و لینک های تغذیه کننده استفاده شده در کاربرد آن تاخیر کم را معرفی می کند که سیگنال دریافتی به ترمینال کاربر را خراب می کند. مزیت این سیستم رساندن دو نسخه از سمبل اصلی توسط دو کانال مستقل به گیرنده در نتیجه آشکارسازی بهتر در مقصد است. اما به دلیل اینکه سیگنال دریافتی و تقویت شده در رله،

آغشته به نویز است؛ در نتیجه نیاز به همراه سیگنال اصلی تقویت شده است. در شکل ۲-۲ طریقه کارکرد روش AF رسم شده است [۳].

در این روش در گام نخست، سمبل‌های اطلاعات توسط مبدا برای مقصد و رله ارسال میشود. سیگنال‌های دریافتی در رله y_r و مقصد y_d به صورت رابطه ۲-۳ و ۲-۴ بیان می‌شوند.

$$y_r = h_{s,r}s + n_r$$

$$y_d^{(1)} = h_{s,r}s + n_r$$



شکل ۵ نمایشی از روش AF

در روابط بالا $h_{s,r}$ و $h_{s,d}$ به ترتیب ضرایب کانالهای مبدا - رله و مبدا - مقصد هستند. لازم به ذکر است که این ضرایب کانال، دارای توزیع گوسی هستند. همچنین n_r و n_d به ترتیب نویز اضافه شده در رله و مقصد (گام اول) با میانگین‌های صفر و واریانس‌های $\sigma_{n_r}^2$ و $\sigma_{n_d}^2$ هستند.

در گام دوم رله پس از ضرب سیگنال دریافتی در ضریب G (تقویت سیگنال دریافتی) سیگنال x_r حاصل می‌شود و در ادامه سیگنال x_r توسط رله برای مقصد ارسال می‌شود که به صورت رابطه ۲-۵ و ۲-۶ است.

$$G = \frac{1}{\sqrt{E\{|y_r|^2 |h_{s,r}|^2\}}} = \frac{1}{\sqrt{\sigma_s^2 |h_{s,r}|^2 + \sigma_{n_r}^2}}$$

$$x_r = \sqrt{p_r} G y_r = \frac{\sqrt{p_r} h_{s,r} s}{\sqrt{\sigma_s^2 |h_{s,r}|^2 + \sigma_{n_r}^2}} + \frac{\sqrt{p_r}}{\sqrt{\sigma_s^2 |h_{s,r}|^2 + \sigma_{n_r}^2}} n_r$$

در روابط بالا عملگر $E\{\cdot\}$ بیان کننده‌ی میانگین آماری و P_r توان ارسالی رله است. با توجه به وابستگی ضریب G به اندازه کانال مبدا - رله بدیهی است که مقدار G در ارسال‌های مختلف، متفاوت است و رله برای محاسبه آن نیاز به دانستن اطلاعات حالت کانال^۱ دارد. همچنین سیگنال دریافتی مقصد از سمت گیرنده به صورت رابطه ۲-۷ است.

$$y_d^{(2)} = h_{r,d} x_r + n_d = \frac{h_{r,d} \sqrt{p_r} h_{s,r} s}{\sqrt{\sigma_s^2 |h_{s,r}|^2 + \sigma_{n_r}^2}} + \frac{h_{r,d} \sqrt{p_r}}{\sqrt{\sigma_s^2 |h_{s,r}|^2 + \sigma_{n_r}^2}} n_r + n_d$$

در رابطه بالا ضریب کانال رله - مقصد با توزیع گوسی مختلط است. همچنین n_d نویز اضافه شده در مقصد (گام دوم) با میانگین صفر و واریانس‌های $\sigma_{n_d}^2$ است.

¹ Channel State Information (CSI)

○ روش کدگشایی و ارسال مجدد

در این روش، رله با کد گشایی اطلاعات دریافتی، سیگنال ارسالی از سمت فرستنده را استخراج میکند و در ادامه پس از برگزاری مجدد اطلاعات کدگشایی شده، آن را برای گیرنده (مقصد) ارسال می کند. در این روش اگرچه تقویت نویز وجود ندارد، اما مشکل این است که در صورتی که در رله اتفاق افتد، سیستم با افت عملکرد مواجه می شود. این طرح مزایایی را برای مدیریت منابع رادیویی فراهم می کند و در محیط های با تداخل محدود به کار می رود. با این حال، این اقدامات سیگنال به مدتی در RN نیاز دارد که منجر به تاخیر و افزایش پیچیدگی سیستم می شود. در شکل ۲-۳ عملکرد راهبرد DF رسم شده است. در این روش در گام نخست، سمبل های اطلاعات توسط مبدا برای مقصد و رله ارسال می شود. سپس رله با استفاده از اطلاعات دریافتی کدگشایی میکند و پس از کدگذاری مجدد، اطلاعات را برای مقصد ارسال می کند.

سیگنال دریافتی در رله y_r و سیگنال دریافتی در مقصد y_d به صورت زیر تعریف می شوند.

$$y_r = h_{s,r}s + n_r$$

$$y_d^{(1)} = h_{s,d}s + n_d^{(1)}$$

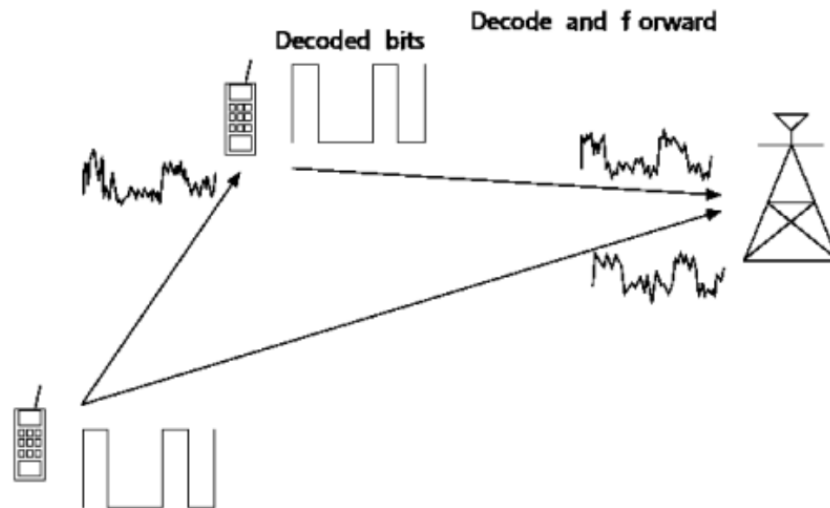
در روابط بالا $h_{s,d}$ و $h_{s,r}$ به ترتیب ضرایب کانالهای مبدا - رله و مبدا - مقصد هستند. لازم به ذکر است که این ضرایب کانال، دارای توزیع گوسی می باشند. همچنین n_r و n_d به ترتیب نویز اضافه شده در رله و مقصد (گام اول) با میانگین های صفر و واریانس های $\sigma_{n_r}^2$ و $\sigma_{n_d}^2$ هستند.

در ادامه، رله با استفاده از سیگنال دریافتی از رابطه ۲-۸ سیگنال \hat{s} را بازیابی می کند و سپس با استفاده از کتاب کدی^۱ مشابه آنچه در مبدا استفاده شده است مجدداً اطلاعات را کدگذاری کرده و برای مقصد ارسال می کند. سیگنال دریافتی در مقصد به صورت زیر خواهد بود.

$$y_d^{(2)} = h_{r,d}\hat{s} + n_d^{(2)}$$

¹ Code Book

در رابطه بالا $h_{r,d}$ ضریب کانال رله - مقصد با توزیع گوسی و s ، سیگنال کد شده در رله است. همچنین $n_d^{(2)}$ نویز اضافه شده در مقصد (گام دوم) با میانگین صفر و واریانس $\sigma_{n_d}^2$ می‌باشد.

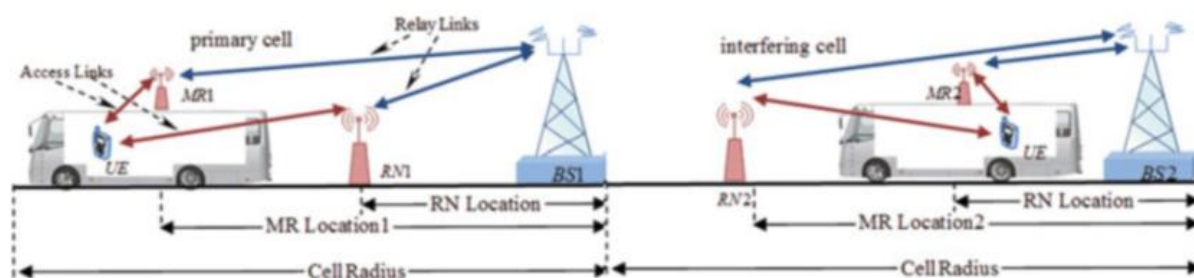


شکل ۶ نمایشی از روش DF

۵-۴-۱- رله های متحرک

MR عملکردی مشابه با RN دارد اما با این تفاوت که در طول مخابره به کاربران داخل وسیله نقلیه (قطار یا اتوبوس) ارتباط برقرار می‌کند. MR یک نوآوری جدید برای بهبود توان عملیاتی برای کاربران خودرو در شبکه های LTE-A است [۲۳]. MR می‌تواند به طور انعطاف پذیر برای افزایش توان عملیاتی در خدمات بی سیم برای مسافران در حمل و نقل عمومی در مناطق روستایی مستقر شود، جایی که RN ها در دسترس نیستند یا از نظر اقتصادی قابل توجیه نیستند یا سیگنال دریافتی ضعیفی از BS دارند [۲۳]. MR را می‌توان روی وسایل نقلیه نصب کرد و به صورت بی سیم با BS از طریق لینک رله و با مسافران از طریق لینک های دسترسی متصل شد. در نتیجه، MR و مسافران تحرک گروهی نامیده می‌شوند [۲۵ و ۱۰]. همانطور که در شکل ۲-۱۳ نشان داده شده است. در واقع، تحرک گروهی را می‌توان در هر جایی که تعداد زیادی از کاربران با هم حرکت می‌کنند، در حالی که از خدمات شبکه سلولی استفاده می‌کنند، ارائه کرد. MR خدمات قابل اعتمادی را ارائه می‌دهد، با این فرض که لینک رله کانال بسیار بهتری نسبت به UE های معمولی دارد، زیرا آنتن های MR بالا هستند و بنابراین در مقایسه با UE معمولی دارای موانع

کمتری در مسیر امواج رادیویی هستند. آنتن های رله های متحرک از طریق شارژر باتری به یک منبع تغذیه خارجی متصل می شوند یا واحد منبع تغذیه خود را دارند که به آنها امکان دسترسی نسبتاً بالایی به قابلیت های پردازش و قدرت های انتقال بالاتر را می دهد. استفاده از MR ها در سیستم های سلولی هنوز در 3GPP-LTE مورد بحث است [۲۶]. مطالعات نشان داده اند که از طریق استقرار رله های متقارن و مشارکتی در بالای قطارها، QoS یک UE در داخل یک وسیله نقلیه می تواند به طور قابل توجهی بهبود یابد.



شکل ۷ سیستم مدل

۵-۱- انواع رله از نظر ارسال و دریافت داده

۱-۵-۱- روش نیمه دو طرفه^۱

در سیستم‌های رله نیمه دوطرفه، هر دوره ارسال به دو بخش زمانی تقسیم می‌شود. گره پیام‌های ارسالی از گره منبع را در بازه زمانی اول آشکارسازی و آن را مجدداً کدگذاری می‌کند. سپس در بخش زمانی دوم، سیگنال کد شده را به سمت مقصد ارسال می‌کند.

۲-۵-۱- روش دو طرفه^۲

در سیستم رله ارسال دو طرفه، سه لینک، پیام را در تمام دوره زمانی ارسال می‌کنند. پیام منبع از طریق کانال‌های منبع به رله و منبع به مقصد ارسال می‌شود. در همین زمان پیام دریافت شده در دوره قبلی توسط رله دیکد شده و به سوی گره مقصد ارسال می‌شود. پس از دریافت تمام پیام‌های کد شده از سوی من و رله، گره مقصد اطلاعات ارسالی را تخمین می‌زند.

^۱ Half Duplex (HD)

^۲ Full Duplex (FD)

فصل ۲ :

مخابرات مشارکتی در سیستم های UAV

۱-۲- مقدمه

هدف از این فصل که با عنوان «مروری بر ادبیات»^۱، «مروری بر منابع» و یا «مروری بر پیشینه تحقیق» معرفی می شود، بررسی و طبقه بندی یافته های تحقیقات دیگر محققان در سطح دنیا و تعیین و شناسایی خلأهای تحقیقاتی است.

۲-۲- ارتباطات بی سیم و شبکه با پهپاد

پهپادها در تمام انواع و اندازه های خود فرصت های زیادی را برای کاربردهای ارتباطات بی سیم فراهم می کنند. به طور کلی انواع پهپادها را می توان به رابط های بی سیم مجهز کرد. چنین رابط هایی می توانند در فرکانس های بدون مجوز، وای فای یا فرکانس های سلولی دارای مجوز کار کنند. طبیعتاً تجهیز پهپادها به قابلیت های ارتباطی بی سیم، راه را برای انبوهی از حوزه های کاربردی جدید برای فناوری های پهپاد هموار می کند. در سراسر این حوزه های کاربردی، ما می توانیم سه نقش ارتباطی اصلی برای پهپادها ببینیم: (الف) پهپادها به عنوان ایستگاه های پایه هوایی (یا نقاط دسترسی) که می توانند برای ارائه شبکه های بی سیم و قابلیت های ارتباطی در مناطق مختلف جغرافیایی مستقر شوند، (ب) پهپادها می توانند زیرساخت های موجود (به عنوان مثال، سلولی یا WiFi) برای ارتباط با یکدیگر یا با دستگاه های زمینی، و ... اهرمی را ایجاد کنند. (ج) پهپادها می توانند به عنوان رله های هوایی مستقر شوند که می توانند گسترشی برای پوشش و اتصال زیرساخت های بی سیم موجود ایجاد کنند. برای هر یک از سه مورد استفاده، چالش های تحقیقاتی مختلف باید برطرف شود، همانطور که در ادامه بحث می شود [۲۸].

¹ Literature Review

۱-۲-۲- پهپادها به عنوان ایستگاه های پایه بی سیم پرنده

اولین مورد استفاده طبیعی برای پهپادها در کاربردهای ارتباطی، استفاده بصورت ایستگاه پایه پرواز (BS) است. در این مورد از پهپاد خود به عنوان ارائه دهنده خدمات ارتباطی بی سیم استفاده می شود. به عنوان مثال، LAP ها را می توان برای ارائه قابلیت های شبکه بی سیم بر اساس تقاضا برای مناطقی که پوشش می دهند یا در حال حاضر متراکم هستند، مانند مناطق هات اسپات استفاده کرد. در واقع، انعطاف پذیری و چابکی LAP ها به اپراتورهای شبکه اجازه می دهد تا در صورت نیاز از آنها برای ارائه اتصال سریع و بر اساس تقاضا استفاده کنند. در همین حال، HAP ها را می توان برای اهداف پوشش بی سیم طولانی مدت مستقر کرد. در واقع، HAP ها جزء اصلی پیشنهادات اخیر برای ارائه اتصال به مناطق روستایی هستند (به عنوان مثال، پروژه لون گوگل). این به دلیل این واقعیت است که HAP ها می توانند برای مدت طولانی در پرواز باقی بمانند و بنابراین، می توانند خدمات پهن باند مستمر را به مناطق روستایی یا دورافتاده ای که در آن زیرساخت های بی سیم زمینی پراکنده یا به سختی استقرار می شوند، ارائه دهند. علاوه بر این، با استفاده مشترک از LAP ها و HAP ها به عنوان ایستگاه های پایه پرواز، می توان یک شبکه بی سیم سه بعدی (3D) چند لایه ساخت که راه حل های پوشش کوتاه مدت و بلند مدت را در بر می گیرد. چنین شبکه بی سیم کاملاً مبتنی بر پهپاد به عنوان یک پله مهم برای ارائه اتصال بی سیم جهانی پیش بینی می شود. طراحی یک شبکه بی سیم که بر پهپادهای پرنده (LAP یا HAP) متکی است، تعدادی چالش و فرصت های منحصربه فردی را به وجود می آورد که از ویژگی های منحصربه فرد پهپادهای BS سرچشمه می گیرد:

- استقرار BS های پرنده طبیعتاً در فضای سه بعدی انجام می شود. در واقع، بعد ارتفاع درجه جدیدی از آزادی را فراهم می کند که یک اپراتور شبکه می تواند از آن برای افزایش اتصال استفاده کند، مانند برقراری پیوندهای دید (LOS) بین BS های پرنده و کاربران زمینی.
- کانال بی سیم هوا به زمین یک محیط انتشار جدید ارائه می دهد که ویژگی های آن می تواند به طور قابل توجهی با مدل های کانال های زمینی معمولی (مانند مدل های ریلی) متفاوت باشد. در واقع، مدل سازی و اندازه گیری انتشار یک چالش مهم تحقیقاتی برای پهپادهای BS است
- هنگام برخورد با پهپادهای BS، ضروری است که به صراحت پویایی (مانند کنترل)، تحرک، و محدودیت های پرواز پهپادها را در نظر بگیرید.
- مدیریت منابع در یک شبکه با پهپادهای BS به طور اساسی با مدیریت منابع در شبکه های سلولی

کلاسیک متفاوت است. از یک طرف، محدودیت های پروازی ذکر شده منابع جدیدی (به عنوان مثال، زمان پرواز، انرژی داخلی) را فراهم می کنند که باید همراه با منابع بی سیم معمولی (به عنوان مثال، طیف) مدیریت شوند. از سوی دیگر، توانایی پهپادها برای پرواز و شناور شدن فرصتی منحصر به فرد برای استفاده از باندهای فرکانس بالا (به عنوان مثال، موج میلی متری) است که می تواند از سهولت پهپادها برای ایجاد اتصالات LOS بهره مند شود.

۲-۲-۲- پهپادها به عنوان تجهیزات کاربر شبکه بی سیم

برای فعال کردن برنامه های پهپاد مختلف که قبلاً ذکر شد، پهپادها باید بتوانند با شبکه های بی سیم موجود، مانند شبکه های سلولی یا WiFi ارتباط برقرار کنند. در چنین سناریوهایی، پهپادها به عنوان تجهیزات کاربر (UE) شبکه بی سیم عمل می کنند. هنگامی که پهپادها به عنوان UAV های پهپاد یک شبکه سلولی بی سیم زمینی استفاده می شوند، اغلب به آنها پهپادهای متصل به سلول گفته می شود. پهپادهای UE متصل به سلول، دامنه های کاربردی بی شماری را فعال می کنند که در آنها ارتباطات بین پهپادها و زیرساخت های سلولی زمینی برای پهپادها برای ارائه داده های خاص یک برنامه، به دست آوردن اطلاعات کنترل و دستیابی به هدف مأموریتشان ضروری است. نمونه هایی از چنین کاربردهایی شامل پهپادهای تحویل، نظارت و انتقال چندرسانه ای در زمان واقعی و شبکه های حمل و نقل به کمک پهپاد است. همانطور که در مورد پهپاد BS مورد بحث قرار گرفت، معرفی پهپادهای هوایی UE که در مکان های نامحدود پرواز می کنند و در فضای سه بعدی با هم ارتباط برقرار می کنند، منجر به چالش های شبکه بی سیم منحصربه فردی می شود که در یک شبکه زمینی با آنها برخورد نمی شود. به طور خاص، استقرار UAV های متصل به سلول نیاز به غلبه بر برخی از چالش های کلیدی زیر دارد:

- مدیریت تداخل شبکه زمانی که پهپادهای UE مستقر می شوند بسیار چالش برانگیزتر می شود. این به دلیل این واقعیت است که UE های پهپاد پرنده اکنون تداخل LOS را در BS های زمینی و UE های زمینی ایجاد می کنند که به طور بالقوه می تواند منجر به کاهش قابل توجه عملکرد شود.
- زیرساخت بی سیم فعلی برای به حداکثر رساندن عملکرد کاربران زمینی طراحی شده است. در نتیجه، بسیاری از انتخاب های طراحی بدون در نظر گرفتن امکان داشتن کاربران پرواز انجام شده است. به عنوان مثال، شبکه های سلولی فعلی BS به گونه ای توسعه داده شده اند که پوشش آنتن

را به زمین به حداکثر برساند. در نتیجه، BS های فعلی آنتن های خود را به سمت پایین به سمت زمین متمایل خواهند کرد. در نتیجه، این BS ها نمی توانند به پهپادهای پرنده UE با استفاده از لوب آنتن اصلی خود خدمت کنند و باید به لوب های جانبی یا پشتی خود تکیه کنند. از این رو، بهینه سازی با استفاده از آنتن برای همزیستی UE های هوایی و زمینی یک چالش کلیدی برای ارتباط بی سیم با UAV های متصل به سلول است.

- با توجه به تفاوت در محیط انتشار بین کاربران زمینی و UE های پهپاد، یک اپراتور شبکه باید تکنیک های جدیدی را برای شناسایی کاربران زمینی و هوایی طراحی کند.
- اکثر سیستم های مبتنی بر پهپاد، مسیر پهپادهای خود را بر اساس اهداف ماموریتی خاص برنامه ریزی می کنند. در واقع، بهینه سازی مسیر پهپادها به گونه ای که زمان ماموریت را به حداقل می رساند، بسیار رایج است. با این حال، هنگامی که پهپادها بر روی یک شبکه بی سیم به عنوان UAV UE مستقر می شوند، مسیر حرکت آنها نه تنها بر اهداف ماموریت تأثیر می گذارد، بلکه بر عملکرد شبکه بی سیم نیز تأثیر می گذارد.
- همراه با بهینه سازی مسیر، انتقال و مدیریت تحرک نیز دو چالش فنی برجسته برای شبکه های سلولی با پهپادهای UE هستند. این چالش ها با این واقعیت تشدید می شوند که تحرک پهپادهای UAV بسیار پویاتر از دستگاه های زمینی است
- همانطور که در مورد سناریوی BS پهپاد وجود دارد، پهپادهای UE نیز با چالش هایی در رابطه با محیط انتشار هوایی و همچنین نیاز به مدیریت منابع پویا مواجه خواهند شد.

۳-۲-۲- پهپادها به عنوان رله

سناریوی مورد استفاده سوم برای پهپادها در یک محیط بی سیم، سناریویی است که در آن پهپادها به عنوان ایستگاه های رله ای عمل می کنند که یک پیوند رله بین فرستنده و گیرنده را فراهم می کنند. به طور خاص، استفاده از رله های پهپاد برای افزایش پوشش شبکه زمینی یا برای غلبه بر موانع (به عنوان مثال، تپه های بلند یا ساختمان های بلند) که می توانند از امکان ارتباط LOS بین فرستنده و گیرنده جلوگیری کنند، مناسب است. استفاده از رله های پهپاد نیز برای برقراری ارتباط بین کاربران زمینی شبکه های موقت موبایل محبوبیت خاصی داشته است. یکی دیگر از کاربردهای مهم رله های پهپاد، استفاده از یک شبکه

Adhoc پرواز برای ارائه اتصال بکمال به کاربران بی سیم یا سلولی زمینی است. در سناریوهای استفاده از رله پهپاد، پهپاد به عنوان یک فرستنده گیرنده عمل می کند که داده ها را از یک دستگاه زمینی دریافت می کند و سپس این داده ها را (از طریق یک یا چند هاپ) به دستگاه های دیگر رله می کند. در حالی که استقرار رله های پهپاد چالش های بسیاری را با موارد پهپاد BS و UAV UE به اشتراک می گذارد، چالش های منحصر به فرد خود را نیز دارد:

- برای رله مناسب، پهپادها باید موقعیت یابی و انتقال احتمالی خود را هماهنگ کنند. برای انجام این کار، پهپادها باید به سیستم کنترل خود متکی باشند. در نتیجه، نیاز به مکانیسم های ارتباطی و کدهای کنترلی جدیدی وجود دارد که بتواند به طور مشترک عملکرد سیستم های کنترل و ارتباط را در نظر بگیرد. چنین مکانیزم هایی همچنین می توانند عوامل برونزا مانند باد را که می توانند بر عملکرد رله های پهپاد تأثیر بگذارند، در نظر بگیرند. در اینجا قابل ذکر است که مشکلات ارتباطی و کنترل مشترک در مورد استفاده از پهپاد BS نیز مطرح است.
- استفاده از رله به پهپادها نیاز دارد تا پیوندهای ارتباطی چند هاپ را در هوا برقرار کنند. هنگامی که پهپادها به عنوان رله عمل می کنند، تشکیل و بهینه سازی چنین شبکه های هوابردی چند هاپ یک چالش بزرگ تحقیقاتی است. برای مثال، با توجه به اینکه لینک هوا به هوا هنوز به خوبی درک نشده است، طراحی مسیریابی پویا و الگوریتم های ارتباطی چند هاپ که می توانند با محیط انتشار این پیوند سازگار شوند، چالش برانگیز است. علاوه بر این، توسعه قوانین مقیاس بندی متناسب با ماهیت پرواز رله های پهپاد چند هاپ نیز برای درک محدودیت های عملکرد یک شبکه پهپاد چند هاپ پرنده مورد نیاز است.

۳-۲- پهپاد در مخابرات مشارکتی

در قسمت های قبل پهپاد ها و رله های مشارکتی به تفصیل بصورت جداگانه بررسی شدند و کاربرد پهپاد ها بعنوان رله های مخابراتی بیان شد. در این بخش به سناریو هایی که میتواند پهپاد بعنوان رله عمل کند بررسی و مروری بر ادبیات آن انجام میشود.

۱-۳-۲- مروری بر ادبیات موضوع

به طور کلی مشکلات ارتباطی در مورد تحرک پهپاد را می توان در دو مورد دسته بندی کرد. یکی مسئله بهینه سازی مسیر و دیگری مسئله بهینه سازی موقعیت ایستا است. کاربردهای مختلف با در نظر گرفتن هزینه، پیچیدگی الگوریتم و دامنه فعالیت پهپادها منجر به این دو سناریو متفاوت می شود. برای اولی، به دلیل تحرک پهپاد، این یک جهت تحقیقاتی جذاب است [۳۰] - [۳۵]. در [۳۰]، یک پهپاد به عنوان یک ایستگاه پایه متحرک کار می کند تا به ایستگاه پایه زمینی کمک کند تا داده ها را تخلیه کند تا با بهینه سازی شعاع پرواز، تخصیص پهنای باند و پارتیشن بندی کاربر، حداقل نرخ کاربر را به حداکثر برساند. در [۳۱]، یک پهپاد به عنوان یک رله متحرک تمام دوبلکس (FD) برای ارائه داده ها بین دو گره زمین جدا شده کار می کند، و سایر گره های زمین نیز از همان طیف برای برقراری ارتباط با یکدیگر با استفاده از دستگاه به دستگاه (D2D) استفاده می کنند. تکنیک با بهینه سازی مسیر پهپاد و قدرت گره ها، نرخ مجموع تمام گره ها را به حداکثر می رساند. [۳۲] از چندین پهپاد برای انتقال اطلاعات و انرژی به طور همزمان به کاربران زمینی استفاده می کند تا حداقل نرخ کاربر را به حداکثر برساند و در عین حال تقاضای انرژی کاربران را با بهینه سازی مسیرها و تخصیص منابع پهپادها تضمین کند. [۳۳] از یک پهپاد به عنوان یک رله متحرک برای خدمت به کاربران زمینی در حالت های مختلف مورد علاقه عملی استفاده می کند. از طریق بهینه سازی مشترک مسیر پهپاد و تمام منابع موجود، زمان تکمیل ماموریت را به حداقل می رساند و همچنین نوع جدیدی از الگوریتم اولیه سازی مسیر را پیشنهاد می کند. [۳۴] از یک پهپاد برای ارائه خدمات ارتباطی و MEC به کاربران زمینی استفاده می کند تا با بهینه سازی زمان بندی کار و مسیر پهپاد، مصرف انرژی این سیستم MEC را به حداقل برساند.

یکی از محبوب ترین کاربردها، شبکه های رله مبتنی بر پهپاد است [36]، [38] - [45]. در [36]، یک تکنیک رله سیار با بهینه سازی مشترک قدرت انتقال منبع/رله و همچنین مسیر رله برای سیستم های رله سیار توسعه یافته است، در حالی که در [38]، استقرار بهینه یک پهپاد در یک بی سیم یافت شده است. سیستم ارتباطی رله با به حداکثر رساندن میانگین نرخ داده تحت یک آستانه معین در نرخ خطای سمبل. استفاده از رله مبتنی بر پهپاد با رازداری بهتر در [39] بررسی شده است، در حالی که نویسندگان در [40] تاثیر موقعیت پهپاد بین دو گره زمینی را بر روی خدمات ارتباطی نشان داده اند. علاوه بر این، عملکرد رله مبتنی بر پهپاد در [41] ارائه شده است. در [42]، مشکل موقعیت پهپاد به عنوان رله و تخصیص بهینه توان در سناریوی چند کاربره مطرح شده است. در [43]، نویسندگان یک کران بالای ظرفیت را برای رله چند

ورودی چند خروجی (MIMO) مبتنی بر ازدحام پهپاد به دست آورده‌اند. موقعیت بهینه (مختصات سه بعدی) پهپاد در حین کار به عنوان رله و تأثیر پارامترهای فیزیکی (مانند ارتفاع و موقعیت موانع) بر موقعیت آن در [44] مورد بحث قرار گرفته است. علاوه بر این، نویسندگان در [45] عملکرد یک سیستم رله خودکار مبتنی بر پهپاد را مطالعه کرده‌اند. با این حال، آثار [36]–[45] تنها یک پهپاد را به عنوان رله بین GUها در نظر گرفته‌اند. هنگامی که ساختارهای محیطی ارتباط دوستانه ای ندارند و انتقال اطلاعات بین دو گره نیاز به پیوند قابل اطمینان تری دارد، استفاده از پهپادهای متعدد به عنوان رله ضروری می‌شود [46]. استفاده از چندین رله معمولی در شبکه های بی سیم به طور گسترده در ادبیات مطالعه شده است [47]–[50]. با این حال، استفاده از پهپادهای متعدد به عنوان رله در شبکه های بی سیم نسل آینده هنوز مورد بررسی قرار می‌گیرد، و برخی از کارهای کنونی [51]–[54] رله های مبتنی بر پهپادهای متعدد را مورد بحث قرار داده‌اند. در [51]، [52]، عملکرد پیوندهای تک پرش چندگانه و پیوندهای پرش دوگانه چندگانه بین یک جفت فرستنده و گیرنده با استفاده از تعداد واحد پهپاد مورد مطالعه قرار گرفته و برای (AF) و (DF) مقایسه شده است.

متفاوت از راه حل های مسائل بهینه سازی مسیر پهپاد با تحرک بالا و سازگاری با زمان پرواز پهپادها، راه حل های مسائل بهینه سازی موقعیت این دو ویژگی را ندارند. مزیت اصلی حل مسائل بهینه سازی موقعیت این است که می‌توانیم از اطلاعات قبلی کاربران برای طراحی مکان پهپادها با استفاده از برخی الگوریتم های آفلاین استفاده کنیم و به راحتی می‌توان پهپادها را ایمن نگه داشت زیرا آنها همیشه ثابت می‌مانند. با این حال، در بهینه سازی مسیر، ما به الگوریتم های پیچیده ای برای کنترل مسیرهای پهپادها با کمک اطلاعات وضعیت کانال متغیر با زمان نیاز داریم و باید تغییر محیط را نیز در نظر بگیریم [۳۵].

فصل ۳:

روش تحقیق

۱-۳- مقدمه

باتوجه به فصل قبل، در این پروژه ما شبکه ارتباطی مشارکتی به کمک پهپاد را در نظر گرفته شده است که در آن پهپادهای متعدد به عنوان رله بین یک جفت کاربر زمینی GU عمل می کنند و با بررسی عملکرد دو استراتژی انتخاب پهپاد یعنی بهترین میانگین هارمونیک (HM) و بهترین سیگنال به نویز لینک پایین (BDS) همراه با به حداکثر رساندن توان عملیاتی شبکه تمرکز می کنند.

مشارکت های کلیدی این پروژه در این فصل به شرح زیر خلاصه می شود:

- استراتژی های انتخاب پهپاد مبتنی بر HM و BDS برای شبکه رله دهی به کمک پهپادهای متعدد پیشنهاد شده است. در مرحله بعد، فرمول های بسته احتمال قطع، توان عملیاتی و احتمال پوشش برای هر دو الگوریتم انتخابی استخراج شده تا عملکرد شبکه رله مبتنی بر پهپاد چندانگان با در نظر گرفتن کانال های محو شده در مقیاس کوچک با توزیع مستقل و غیر یکسان (i.n.i.d) مورد بحث قرار گیرد.

- علاوه بر این، یک مسئله بهینه سازی را به منظور به حداکثر رساندن توان سیستم، با توجه به محدودیت مختصات سه بعدی (یعنی مختصات x, y و z) پهپاد انتخاب و فرموله شده است. از آنجایی که مشکل پیچیده است، الگوریتمی را برای یافتن موقعیت/مختصات بهینه پهپاد انتخاب شده پیشنهاد شده است.

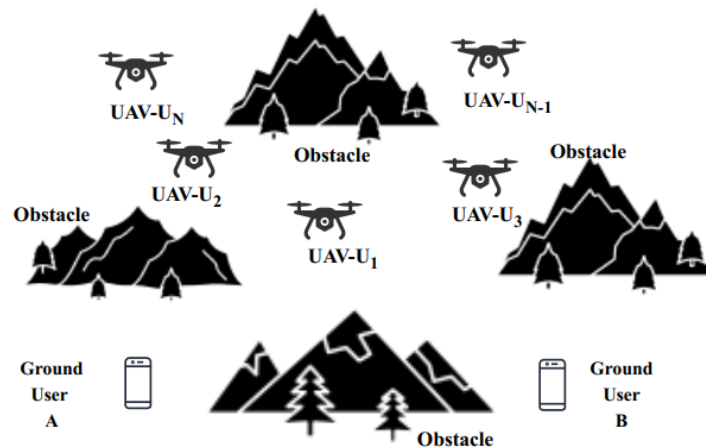
- علاوه بر این، مسئله فرموله شده پیچیده به شکل ساده تبدیل می شود. سپس، تقعر مسئله را با توجه به قرارگیری افقی پهپاد انتخاب شده اثبات می شود.

- با استفاده از نتایج عددی، نشان می دهیم که طرح انتخاب مبتنی بر BDS افزایش قابل توجهی در توان عملیاتی در مقادیر SNR پایین را تضمین می کند، در حالی که هر دو طرح انتخاب عملکرد مشابهی را در موقعیت های SNR بالا به دست می آورند.

سازمان دهی: ساختار این فصل به شرح زیر است. در بخش دوم، مدل سیستم به کمک پهپاد و مقدماتی را نشان داده شده است. در مرحله بعد، استراتژی های انتخاب پهپاد همراه با تحلیل پیچیدگی آنها در بخش ۳ به تصویر کشیده شده است، در حالی که بخش ۴ تجزیه و تحلیل عملکرد را ارائه می دهد. در بخش ۵، مسئله پیشینه سازی توان عملیاتی و الگوریتم های پیشنهادی برای حل مسئله بهینه سازی شرح داده شده است. بخش ششم نتایج عددی را ارائه می کند و در مورد یافته ها بحث می کند.

۳-۲- مدلسازی سیستم

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، شبکه ارتباطی مشارکتی با کمک پهپاد یک طرفه (HD) را در نظر بگیرید. توجه داشته باشید که این مدل سیستم را می توان برای محیط های بسیار زمینی در نظر گرفت، جایی که به دلیل برخی رویدادهای فاجعه بار (مانند زلزله، سیل و غیره) و در دسترس نبودن از پیوند ارتباطی، تبادل اطلاعات بین GU ها امکان پذیر نیست. در چنین مناطقی، پهپادها را می توان به عنوان رله مدل سازی کرد و به راحتی و به سرعت به منظور برقراری ارتباط بین GU ها مستقر شد. علاوه بر این، استفاده از پهپاد منفرد تحت یک سناریوی معین در چنین مکان هایی ممکن است عملکرد مطلوبی را ارائه نکند. بنابراین برای دستیابی به عملکرد بهتر، در این کار چندین پهپاد برای عملیات رله در نظر گرفته شده است.



شکل (۳-۱) مدل سیستم شبکه ارتباطی مشارکتی به کمک پهپاد

ارتباط بین کاربر A و کاربر B توسط پهپادهای توزیع شده تصادفی (U_1 ; U_2 ; ...; U_N) انجام می شود. ارتباط مستقیم بین A و B به دلیل موانع محیطی یا شرایط فیزیکی شدید برای ارتباط نامطلوب است. فرض بر این است که کاربر A و کاربر B تنها دارای یک آنتن هستند، علاوه بر این، هر پهپاد همچنین مجهز به یک آنتن برای انتقال و دریافت است و در حالت HD کار می کند. در این شبکه ارتباطی، هر دو کانال uplink و downlink با استفاده از توزیع تعمیم یافته Nakagami-m مدل سازی می شوند.

ضریب کانال بین (کاربر A – پهنای نام) و (پهنای نام – کاربر B) به ترتیب بصورت زیر بیان میشود:

معادله ۱

$$h_{AU_i} = g_{AU_i} \times \sqrt{\beta_{AU_i}},$$

$$h_{U_iB} = g_{U_iB} \times \sqrt{\beta_{U_iB}},$$

که $i = \{1, 2, \dots, N\}$ ، g_{AU_i} و g_{U_iB} به ترتیب ضرایب فیدینگ مقیاس کوچک و β_{AU_i} و β_{U_iB} به ترتیب اتلاف مسیر بین (کاربر A – پهنای نام) و (پهنای نام – کاربر B) میباشند. اگر مختصات i امین دستگاه را بصورت (x_i, y_i, z_i) که $i = \{A, B, U_1, U_2, \dots, U_N\}$ در نظر بگیریم، اتلاف مسیر برابر است با:

معادله ۲

$$\beta_{AU_i} = \frac{(c/4\pi f)^2}{E_{AU_i}},$$

$$\beta_{U_iB} = \frac{(c/4\pi f)^2}{E_{U_iB}},$$

که در آن c سرعت نور در فضا و f فرکانس کاری میباشد. با در نظر گرفتن توان اتلاف مسیر a ، فاصله اقلیدسی بین (کاربر A – پهنای نام) و (پهنای نام – کاربر B) به ترتیب بصورت زیر بیان میشود:

معادله ۳

$$E_{AU_i} = \left((x_A - x_{U_i})^2 + (y_A - y_{U_i})^2 + (z_A - z_{U_i})^2 \right)^{a/2},$$

$$E_{U_iB} = \left((x_B - x_{U_i})^2 + (y_B - y_{U_i})^2 + (z_B - z_{U_i})^2 \right)^{a/2},$$

g_{AU_i} و g_{U_iB} تابع چگالی احتمال توزیع Nakagami-m هستند که این توزیع بصورت زیر تعریف میشود:

معادله ۴

$$f_X(x) = \frac{2m^m x^{2m-1}}{\Gamma(m) \Omega^m} \exp\left(-\frac{m}{\Omega} x^2\right); \quad x \geq 0,$$

که $X \in \{g_{U_iB}, g_{AU_i}\}$ ، شکل m و Ω پارامتر گسترش این توزیع می‌باشند. سیگنال دریافتی در پهپاد i ام را بصورت زیر میتوان نوشت که در آن $E[|s_{AU_i}|^2] = 1$ سمبل ارسالی از کاربر A به پهپاد i ام است.

معادله ۵

$$y_{AU_i} = h_{AU_i} \sqrt{P_{AU_i}} s_{AU_i} + \omega_{AU_i},$$

که P توان ارسالی کاربر A و $\omega_{AU_i} \sim CN(0, \sigma^2)$ نویز گوسی جمع شونده (AWGN) در پهپاد i ام میباشد. حال سیگنال به نویز در پهپاد i ام برابرند با:

معادله ۶

$$\gamma_{AU_i} = \frac{|h_{AU_i}|^2 P_{AU_i}}{\sigma^2}.$$

چون پهپادها بصورت Decode and Forward (DF) کار میکنند بنابراین سمبل های دریافتی را دوباره کدگذاری کرده و به کاربر B با توان P میفرستد، بنابراین سیگنال به نویز در کاربر B نیز بصورت زیر خواهد بود:

معادله ۷

$$\gamma_{U_iB} = \frac{|h_{U_iB}|^2 P_{U_iB}}{\sigma^2}.$$

۳-۳- الگوریتم های انتخاب پهپاد

در این بخش مطالعه دو طرح انتخاب پهپاد (HM و BDS) را ارائه میشود که کیفیت (QoS) را تضمین می‌کنند. در شرایط فیزیکی بد و مناطق با زمین های بلند، پهپادها می توانند به عنوان گره های رله ای متحرک برای انتقال اطلاعات از یک مکان به مکان دیگر استفاده شوند [۲۸]–[۳۱]. در چنین سناریوهایی، انتخاب کارآمد پهپاد و بهینه سازی موقعیت پهپادها به منظور دستیابی به عملکرد خوب برای انتقال داده از اهمیت بالایی برخوردار است. مکانیسم های مختلف انتخاب رله در سیستم های ارتباطی مشترک متعارف

وجود دارد که در بخش های قبل به آن پرداخته شد. با این حال، موقعیت یابی تصادفی و حرکت مداوم پهپادها مسائل مهمی در توسعه یک استراتژی انتخاب کارآمد پهپاد است. برای این منظور، عملکرد طرح های انتخاب پهپاد مبتنی بر HM و BDS در سناریوی چند پهپاد توزیع شده تصادفی بررسی شده است.

۱-۳-۳- انتخاب پهپاد براساس الگوریتم میانگین هارمونیک (HM)

میانگین هارمونیک (γ_i) با جمع، نسبتی از سیگنال به نویز لینک به پایین و لینک به بالا هر پهپاد بدست می آید و به صورت زیر خواهد بود :

معادله ۸

$$\frac{1}{\gamma_i} = \frac{1}{\gamma_{AU_i}} + \frac{1}{\gamma_{U_iB}} \quad \forall i \in Q$$

از آنجایی که ضرایب فیدینگ از توزیع nakagami-m پیروی می کنند بنابراین γ_i نیز از توزیع gamma پیروی خواهد کرد که PDF و CDF آن بصورت زیر می باشد:

معادله ۹

$$f_{\gamma_k}(\gamma) = \frac{(\gamma)^{(m_k-1)} e^{-\frac{\gamma}{\hat{\gamma}_k}}}{(\hat{\gamma}_k)^{m_k} \Gamma(m_k)} ; \quad \gamma \geq 0,$$

$$F_{\gamma_k}(\gamma) = 1 - \frac{\Gamma\left(m_k, \frac{\gamma}{\hat{\gamma}_k}\right)}{\Gamma(m_k)},$$

که $k \in \{AU_i, U_iB\}$ و $\hat{\gamma}_k$ بصورت زیر میباشد :

معادله ۱۰

$$\hat{\gamma}_k = \frac{E[\gamma_k]}{m_k} = \frac{\Omega_k \beta_k P_k}{m_k \sigma^2}, \quad non-fading SNR = \frac{P_k}{\sigma^2}$$

تابع توزیع تجمعی γ_i (CDF) بصورت زیر میباشد:^۱

معادله ۱۱

$$F_{\gamma_i}(\gamma) = 1 - 2 \exp \left(-\gamma \left(\frac{1}{\hat{\gamma}_{AU_i}} + \frac{1}{\hat{\gamma}_{U_iB}} \right) \right) \sum_{p=0}^{m_{AU_i}-1} \sum_{t=0}^{p+m_{U_iB}-1} \binom{p+m_{U_iB}-1}{t} \frac{\gamma^{p+m_{U_iB}} (\hat{\gamma}_{U_iB})^{\frac{(t-p-2m_{U_iB}+1)}{2}}}{\Gamma(m_{U_iB}) p! (\hat{\gamma}_{AU_i})^{\frac{(p+t+1)}{2}}} \\ \times K_{t-p+1} \left(2 \sqrt{\frac{\gamma^2}{\hat{\gamma}_{AU_i} \hat{\gamma}_{U_iB}}} \right)$$

و در آخر معیار انتخاب پهیاد مناسب بر اساس این الگوریتم بصورت زیر خواهد بود:

معادله ۱۲

$$k = \underset{i \in Q}{\operatorname{argmax}} (\gamma_i).$$

با استفاده از معیار بالا الگوریتم کلی انتخاب را میتوانیم بصورت شبه کد زیر بنویسیم:

Algorithm 1 HM based UAV Selection Strategy

- 1: Initialize $Q = \{1, 2, \dots, N\}$
 - 2: Calculate γ_{AU_i} , $\forall i \in Q$
 - 3: Calculate γ_{U_iB} , $\forall i \in Q$
 - 4: Measure $\gamma_i = \frac{1}{\gamma_{AU_i}} + \frac{1}{\gamma_{U_iB}}$, $\forall i \in Q$
 - 5: Select $k = \arg \max_{i \in Q} (\gamma_i)$
 - 6: **if** $\gamma_k > \gamma_{th}$ **then**
 - 7: U_k is selected as relay
 - 8: **else** Repeat step 2 to 5.
 - 9: **end if**
-

شکل (۲-۳) الگوریتم انتخاب بهترین پهیاد بر اساس HM

در این الگوریتم پس از تعیین موقعیت های پهیاد ها، مقدار SNR های لینک به بالا و لینک به پایین در همه ی پهیاد ها محاسبه شده و سپس میانگین هارمونیک هر پهیاد حساب میشود و طبق معیاری که در

^۱ برای اثبات به پیوست ۱ مراجعه کنید

بالا ذکر شد، پهنای مناسب برگزیده میشود و در صورت بیشتر بودن از یک مقدار ثابت γ_{th} ، آن پهنای برای ارسال سمبل مورد نظر انتخاب میشود.

۲-۳-۳- انتخاب پهنای براساس الگوریتم بهترین SNR در لینک پایین (BDS)

الگوریتم انتخاب بعدی، بر اساس انتخاب بهترین سیگنال به نویز در ارتباط رو به پایین است و معیار انتخاب پهنای مناسب بر اساس این الگوریتم بصورت زیر خواهد بود:

معادله ۱۳

$$k = \underset{j \in C}{\operatorname{argmax}} \left(\gamma_{jB} > \gamma_{th} \right).$$

تابع توزیع تجمعی (CDF) θ_i بصورت زیر میباشد:^۱

معادله ۱۴

$$F_{\theta_i}(\gamma) = 1 - \left(\frac{\Gamma(m_{AU_i}, \gamma/\hat{\gamma}_{AU_i})}{\Gamma(m_{AU_i})} \times \frac{\Gamma(m_{U_iB}, \gamma/\hat{\gamma}_{U_iB})}{\Gamma(m_{U_iB})} \right),$$

θ_i به عنوان متغیر تصادفی تعریف می شود که SNR لحظه ای را در کاربر B با استفاده از استراتژی انتخاب BDS می دهد.

با استفاده از معیار بالا الگوریتم کلی انتخاب را میتوانیم بصورت شبه کد زیر بنویسیم:

^۱ برای اثبات به پیوست ۲ مراجعه کنید

Algorithm 2 BDS based UAV Selection Strategy

```
1: Initialize  $Q = \{1, 2, \dots, N\}$ 
2: Calculate  $\gamma_{AU_i} \forall i \in Q$ 
3: Form  $C = \{i \in Q | \gamma_{AU_i} > \gamma_{th}\}$ 
4: if  $C = \phi$  then
5:   Repeat steps 2 to 3
6: else if  $C \neq \phi$  then
7:   Calculate  $\gamma_{U_jB} \forall j \in C$ 
8: end if
9: Select  $k = \arg \max_{j \in C} (\gamma_{U_jB})$ 
10: if  $\gamma_{U_kB} > \gamma_{th}$  then
11:    $U_k$  is selected as relay
12: else Repeat step 2 to 9.
13: end if
```

شکل (۳-۳) الگوریتم انتخاب بهترین پهپاد بر اساس BDS

در این الگوریتم پس از تعیین موقعیت های پهپاد ها، مقدار SNR های لینک به بالا محاسبه شده و در صورت بیشتر بودن از یک مقدار ثابت γ_{th} ، لینک به پایین در همه ی پهپاد ها محاسبه شده و سپس طبق معیاری که در بالا ذکر شد، پهپاد مناسب برگزیده میشود و در صورت بیشتر بودن از یک مقدار ثابت γ_{th} ، آن پهپاد برای ارسال سمبل مورد نظر انتخاب میشود. هدف ایجاد مجموعه C این است که اطمینان حاصل شود که پهپاد شرکت کننده در مرحله ۷ الگوریتم باید بتواند سیگنال ورودی را با موفقیت رمزگشایی کند.

۳-۳-۳- بررسی پیچیدگی الگوریتم ها

برای بررسی پیچیدگی از مفهوم عملیات ممیز شناور (فلاپ) استفاده می شود، که در آن هر واحد فلاپ معادل یک عملیات حسابی (ضرب، تقسیم، جمع یا تفریق) است [۳۲]. پیچیدگی محاسباتی بر حسب تعداد کل فلاپ های مورد نیاز برای انتخاب پهپاد با استفاده از طرح های انتخاب مبتنی بر HM، BDS ارزیابی می شود. به عنوان مثال، انتخاب مبتنی بر HM به سه متغیر $(\gamma_{AU_i}, \gamma_{U_iB}, \gamma_i)$ برای انتخاب پهپاد نیاز دارد. در اینجا، تعداد فلاپ های مورد نیاز برای ارزیابی هر یک از این متغیرها را محاسبه شده تا پیچیدگی محاسباتی الگوریتم انتخاب مبتنی بر HM را بر حسب فلاپ ها پیدا شود. علاوه بر این، ارزیابی γ_{AU_i} به دو عملیات حسابی (۱ ضرب و ۱ تقسیم) نیاز دارد، بنابراین برای هر پهپاد دو فلاپ وجود دارد. بنابراین، ارزیابی

γ_{AU_i} به $2|Q|$ فلاپ نیاز دارد، که در آن $|Q|$ اندازه مجموعه Q است. به طور مشابه، γ_{U_iB} و γ_i به ترتیب به $2|Q|$ فلاپ و $3|Q|$ فلاپ نیاز دارند. بنابراین، انتخاب مبتنی بر HM تقریباً به $7|Q|$ فلاپ برای انتخاب پهناد به عنوان رله نیاز دارد.

رویکرد مشابهی برای یافتن تعداد تقریبی فلاپ‌ها برای طرح‌های انتخاب مبتنی بر BDS استفاده می‌شود. جدول ۱ مقایسه پیچیدگی محاسباتی هر دو طرح انتخاب را نشان می‌دهد. به وضوح می‌توان مشاهده کرد که انتخاب مبتنی بر HM به بیشترین تعداد محاسبات در مقایسه با دو مورد دیگر نیاز دارد و توجه داشت که معیارهای انتخاب مبتنی بر HM به محاسبه اضافی γ_i نیاز دارد. علاوه بر این، در BDS، downlink فقط از پهنادهای مجموعه C استفاده می‌کند. بنابراین، به طور کلی طرح انتخاب BDS به منابع کمتری BoW نیاز دارد که از این واقعیت مشهود است که $|C| \leq |Q|$ است، بنابراین $|Q| + 2|C| \leq 4|Q|$.

جدول ۱ مقایسه پیچیدگی الگوریتم‌ها

Scheme	Variable	Flops	Total Computations (Flops)
HM	$\gamma_{AU_i}; \forall i \in Q$	$2|Q|$	$7|Q|$
	$\gamma_{U_iB}; \forall i \in Q$	$2|Q|$	
	$\gamma_i; \forall i \in Q$	$3|Q|$	
BDS	$\gamma_{AU_i}; \forall i \in Q$	$2|Q|$	$2|Q| + 2|C|$
	$\gamma_{U_iB}; \forall i \in C$	$2|C|$	

۳-۴- بررسی احتمال قطع، احتمال پوشش و گذردهی سراسری

۳-۴-۱- احتمال قطعی

احتمال قطع سراسری در زمانی است که مقدار سیگنال به نویز از یک حد مشخص کمتر باشد، یعنی به حدی نویز داشته باشد که قابلیت تشخیص سمبل ممکن نباشد و ارتباط قطع شود از این رو برای الگوریتم انتخاب BDS، احتمال قطع را میتوان بصورت زیر نوشت که در آن چون پهنادها از یکدیگر مستقل اند

بنابراین احتمال قطع کل برابر با ضرب احتمال قطع هر پهنای می باشد.

معادله ۱۵

$$P_{OBDS} = Pr\left(\max_{i \in N} \Theta_i \leq \gamma_{th}\right) = \prod_{i=1}^N F_{\Theta_i}(\gamma_{th}).$$

با جایگزینی فرمول (۱۴) در (۱۵) خواهیم داشت:

معادله ۱۶

$$P_{OBDS} = \prod_{i=1}^N \left(1 - \left(\frac{\Gamma\left(m_{AU_i}, \frac{\gamma_{th}}{\hat{\gamma}_{AU_i}}\right)}{\Gamma(m_{AU_i})} \times \frac{\Gamma\left(m_{U_iB}, \frac{\gamma_{th}}{\hat{\gamma}_{U_iB}}\right)}{\Gamma(m_{U_iB})} \right) \right)$$

مشابه استدلال بالا، برای الگوریتم انتخاب HM نیز، احتمال قطع را میتوان بصورت زیر نوشت:

معادله ۱۷

$$P_{OHM} = Pr\left(\max_{i \in N} \gamma_i \leq \gamma_{th}\right) = \prod_{i=1}^N F_{\gamma_i}(\gamma_{th}).$$

که درون ضرب F از معادله (۹) بدست می آید.

۲-۴-۳- احتمال پوشش

احتمال پوشش مبتنی بر SNR شبکه رله در [۳۳] مورد بحث قرار گرفته است. احتمال پوشش، زمانی است که میزان سیگنال به نویز سمبل از یک حد بیشتر باشد و سمبل به راحتی در گیرنده دریافت و تشخیص داده شود. برای استراتژی انتخاب مبتنی بر BDS، احتمال پوشش به صورت بیان شده است:

معادله ۱۸

$$P_{CBDS} = Pr\left(\max_{i \in N} \Theta_i > \gamma_{th}\right) = 1 - \prod_{i=1}^N Pr\left(\max_{i \in N} \Theta_i \leq \gamma_{th}\right) = 1 - P_{OBDS}$$

بطور مشابه، برای الگوریتم انتخاب HM نیز، احتمال پوشش را میتوان بصورت زیر نوشت:

معادله ۱۹

$$P_{CHM} = 1 - P_{OHM},$$

در روابط بالا، P_{OBDS} و P_{OHM} از روابط (۲۴) و (۲۵) بدست می آید.

۳-۴-۳- بررسی گذردهی

گذردهی یا توان عملیاتی در شبکه‌های ارتباطی، به معنای متوسط نرخ تحویل موفق پیام در یک کانال ارتباطی است. برای حداقل نرخ داده شده R ، توان عملیاتی بر حسب بیت در استفاده از کانال (bits per channel use - bpcu) بصورت زیر داده می شود:

معادله ۲۰

$$\tau_{BDS} = \left(1 - P_{OBDS}\right) \times \frac{R}{2}.$$

مشابه استدلال بالا، برای الگوریتم انتخاب HM نیز، گذردهی را میتوان بصورت زیر تعریف کرد:

معادله ۲۱

$$\tau_{HM} = \left(1 - P_{OHM}\right) \times \frac{R}{2}.$$

در سناریوی گفته شده، N پهپاد به طور تصادفی حرکت می کنند و از بین این پهپادهای متحرک تصادفی، یک پهپاد را انتخاب می شود که بر اساس شرایط کانال و ائتلاف مسیر به عنوان رله عمل می کند.

۳-۵- حداکثر کردن گذردهی

در این بخش، موقعیت پهپاد انتخاب شده از نظر مختصات سه بعدی به منظور به حداکثر رساندن توان عملیاتی شبکه، فرمول بندی شده و سپس مقعر بودن آن بررسی و بهینه سازی صورت می گیرد.

۳-۵-۱- بهینه کردن بهترین موقعیت پهپاد

معادلات (۲۰) و (۲۱) به ترتیب با استفاده از استراتژی های BDS و HM توان عملیاتی پهپاد انتخاب شده را بیان می کنند. در سناریویی که پهپادها به طور تصادفی توزیع می شوند، یافتن مکان بهینه پهپاد انتخاب شده به منظور به حداکثر رساندن توان عملیاتی ضروری است. بنابراین، برای پهپاد منتخب (U_k) با مختصات ($x_{U_k}, y_{U_k}, z_{U_k}$)، مسئله بهینه سازی برای به حداکثر رساندن توان عملیاتی را می توان به صورت فرموله کرد.

معادله ۲۲

$$\begin{aligned} \varsigma_{opt} = \{x_{opt}, y_{opt}, z_{opt}\} &= \arg \max_{x_{U_k}, y_{U_k}, z_{U_k}} (\tau_{\eta}) \\ \text{s.t. } x_{min} &\leq x_{U_k} \leq x_{max} \\ y_{min} &\leq y_{U_k} \leq y_{max} \\ z_{min} &\leq z_{U_k} \leq z_{max} \end{aligned}$$

که $\eta \in \{HM, BDS\}$ و x_{min} و x_{max} ، y_{min} و y_{max} ، و z_{min} و z_{max} به ترتیب مقادیر حداقل و حداکثر x_{U_i} ، y_{U_i} و z_{U_i} هستند. ς_{opt} موقعیت بهینه پهپاد انتخاب شده مربوط به حداکثر توان را نشان می دهد. با عبارات پیچیده P_{OBDS} و P_{OHM} ، یافتن مختصات بهینه از نظر تحلیلی بسیار دشوار است [۳۴]. با این حال، یک راه حل در الگوریتم ۳ برای به دست آوردن مقادیر مختصات بهینه که توان عملیاتی شبکه را به حداکثر می رساند، پیشنهاد شده است. ایده پشت راه حل پیشنهادی این است که پهپاد انتخاب شده باید بهترین

توان عملیاتی شبکه را در بین تمام پهپادها ارائه دهد و بنابراین، میانگین مقدار مختصات پس از شبیه‌سازی (ζ_{opt}) بهترین قرارگیری پهپاد را به دست می‌دهد.

Algorithm 3 Optimal Position

- 1: Initialize number of iterations = L
 - 2: **for** $l = 1 : L$ **do**
 - 3: Find U_k using Algorithm 1 or 2
 - 4: Store $x_l = x_{U_k}, y_l = y_{U_k}, z_l = z_{U_k}$
 - 5: **end for**
 - 6: Calculate:

$$x_{opt} = \sum_{l=1}^L x_l / L, y_{opt} = \sum_{l=1}^L y_l / L, z_{opt} = \sum_{l=1}^L z_l / L$$
 - 7: Optimal position, $\zeta_{opt} = \{x_{opt}, y_{opt}, z_{opt}\}$
-

شکل (۴-۳) الگوریتم انتخاب بهترین مکان پهپاد بر اساس بیشترین گذردهی

در الگوریتم بالا با توجه به اینکه مختصات بهینه، توسط متوسط گیری از موقعیت ها محاسبه میشود، تعداد تکرارها باید مشخص شود. بنابراین هرچه مقدار این تکرار ها بیشتر باشد، موقعیت ها به مقدار بهینه نزدیک میشود. سپس در هر تکرار با استفاده از الگوریتم های انتخاب BDS یا HM (الگوریتم ۱ یا ۲)، بهترین پهپاد را انتخاب و موقعیت آن را ذخیره میکنیم. پس از اتمام تکرار ها، از موقعیت های بدست آمده میانگین گرفته شده و نتیجه نهایی بعنوان مختصات بهینه استفاده میشود.

۲-۵-۳- ساده سازی مسئله بهینه‌سازی و بدست آوردن زیربهینه

با عبارات بدست آمده از احتمالات قطع در (۱۶) و (۱۷)، بهینه سازی مشترک بر اساس مختصات پهپاد انتخاب شده برای به حداکثر رساندن توان عملیاتی سیستم بسیار دشوار است. بنابراین، در این بخش یک راه حل بهینه برای این مشکل پیشنهاد شده است. با استفاده از (۱۶) و (۱۷) به (۲۰) و (۲۱)، توان عملیاتی سیستم برای طرح های انتخاب مبتنی بر BDS و HM می تواند به این صورت بیان شود.

معادله ۲۳

$$\tau_{\eta} = \left(1 - P_{O\eta}\right) \times \frac{R}{2} = \left(1 - \prod_{i=1}^N F_{\phi_i}(\gamma_{th})\right) \times \frac{R}{2},$$

که $\phi_i \in \{\gamma_i, \theta_i\}$ است. از آنجایی که احتمال قطع پهنای انتخاب شده در بین تمام پهنایها حداقل است، بنابراین می توان نوشت:

معادله ۲۴

$$F_{\phi_k}(\gamma_{th}) \leq F_{\phi_i}(\gamma_{th}) \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, N\}$$

با توجه به عبارت بالا داریم:

معادله ۲۵

$$\left(F_{\phi_k}(\gamma_{th})\right)^N \leq \prod_{i=1}^N F_{\phi_i}(\gamma_{th}) \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, N\}$$

با توجه به (۳۱)، گذردهی بصورت زیر بیان میشود:

معادله ۲۶

$$\tau_{\eta} \leq \tau_{0\eta},$$

$$\tau_{0\eta} = \left(1 - \left(F_{\phi_k}(\gamma_{th})\right)^N\right) \times \frac{R}{2}$$

واضح است که $\tau_{0\eta}$ کران بالایی برای τ_{η} است. علاوه براین، از (۲۵) و (۲۶) مشهود است که به حداکثر رساندن $\tau_{0\eta}$ منجر به به حداکثر رساندن τ_{η} می شود. بنابراین، یک مسئله بهینه سازی زیر بهینه بسیار ساده تر را می توان به صورت زیر فرمول بندی کرد:

معادله ۲۷

$$x_{sopt} = \arg \max_{x_{U_k}} (\tau_{0\eta})$$

$$s.t. \quad x_{min} \leq x_{U_k} \leq x_{max}$$

- برای بدست آوردن (X_{sopt}) ، از $\tau_{0\eta}$ تعریف شده توسط (۳۵) استفاده می‌شود. از آنجایی که $\tau_{0\eta}$ نسبت به (X_{Uk}) مقعر است، یک مقدار بهینه را می‌توان با حل مسئله (۳۶) با استفاده از ابزارهای بهینه سازی استاندارد پیدا کرد [۳۴].

○ قضیه) برای ارتفاع معین z_{Uk} و عرض y_{Uk} ، $\tau_{0\eta}$ تابعی مقعر نسبت به X_{Uk} است.^۱

همانطور که $\tau_{0\eta}$ نسبت به (X_{Uk}) مقعر است. یک مقدار بهینه (X_{sopt}) وجود دارد که می‌تواند با حل $\tau_{0BDS}' = 0$ به دست آید. با این حال، یافتن فرم بسته ای از (X_{sopt}) به علت پیچیدگی عبارات، دشوار است. برای حل مشکل فوق ما یک راه حل در الگوریتم ۴ پیشنهاد شده است که بصورت تقریبی و بدون حل معادله، مختصات بهینه را بدست می‌آید.

Algorithm 4 Sub-Optimal Position

```

1: Initialize  $y_{U_k}, z_{U_k}, x_A, y_A, z_A, x_B, y_B, z_B, c, f, a$ 
2: Initialize  $x_{U_k} = x_{min} : 1 : x_{max}$ ,
3: for  $ii = 1 : \text{length}(x_{U_k})$  do
4:   Calculate
      $E_{AU_k}(ii) = \left( (x_A - x(ii))^2 + (y_A - y_{U_k})^2 + (z_A - z_{U_k})^2 \right)^{a/2}$ ,
      $E_{U_kB}(ii) = \left( (x_B - x(ii))^2 + (y_B - y_{U_k})^2 + (z_B - z_{U_k})^2 \right)^{a/2}$ ,
5:   Evaluate  $\tau_{0\eta}(ii)$  for  $E_{AU_k}(ii)$  and  $E_{U_kB}(ii)$ 
6: end for
7: Find  $ii_{sopt} = \arg \max_{ii \in (1:\text{length}(x))} (\tau_{0\eta}(ii))$ 
8: Find  $x_{sopt} = x_{U_k}(ii_{sopt})$ 
9: Sub-Optimal position,  $\zeta_{sopt} = \{x_{sopt}, y_{U_k}, z_{U_k}\}$ 

```

شکل (۳-۵) الگوریتم انتخاب زیر بهینه مکان پهپاد بر اساس بیشترین گذردهی

در این الگوریتم، ابتدا مختصات کاربران و مختصات عرض و ارتفاع پهپاد ها به همراه فرکانس کاری پارامتر های محیط مشخص شده و سپس برای مقدار های امکان پذیری که برای مختصات طول پهپاد وجود دارد در یک حلقه، مقدار گذردهی را با توجه به (۲۶) حساب میکنیم. در مرحله بعد از بین تمام این مقادیر گذردهی ذخیره شده، بهترین را انتخاب و مختصات پهپاد مربوط به آن را بعنوان مختصات بهینه برمیگزینیم.

^۱ برای اثبات به پیوست ۳ مراجعه کنید

۳-۶- بحث و نتایج

در این بخش، شبیه‌سازی‌های عددی را به منظور ارزیابی عملکرد استراتژی‌های انتخاب پهپاد پیشنهادی ارائه می‌شود. پارامترهای اصلی شبیه‌سازی در جدول زیر (۳-۲) آمده است. برای شبیه‌سازی، فرض می‌شود که سیگنال به نویز بدون فیدینگ یعنی مقدار توان ارسالی تقسیم بر توان نویز در کاربر A و پهپاد یکسان در نظر گرفته شود یعنی $P_{AU_i} / \sigma^2 = P_{UB} / \sigma^2 = \gamma_{NF} \text{ dB}$. مقدار فرکانس $f = 2$ گیگاهرتز در نظر گرفته می‌شود، با این حال مقدار توان افت مسیر (path loss exponent) که مقدار آن بین ۲ و ۴ قرار دارد را $a = 2$ گرفته می‌شود [۲۵]، [۲۷]، [۳۵]. علاوه بر این، فاصله بین کاربر A تا کاربر B، ۱۲۰۰ متر تعیین می‌شود. کاربر A و B دارای مختصات مشخصی هستند که در جدول (۳-۲) آمده است، در حالی که پهپادها $(U_1; U_2; \dots; U_N)$ به طور تصادفی با مقادیر مختصات متفاوت در محدوده ۶۰۰-۶۰۰ متر تا ۶۰۰ متر توزیع یکنواخت می‌شوند. علاوه بر این، فرض بر این است که هیچ دو پهپاد مختصات یکسانی در یک نقطه زمانی معین ندارند تا از برخورد جلوگیری شود. به عنوان یک معیار، ما احتمال قطع (POBoW) طرح انتخاب پهپاد BoW ارائه شده در Ref را شبیه‌سازی می‌کنیم. [۲۵] که به عنوان کران پایین برای طرح‌های پیشنهادی کار می‌کند.

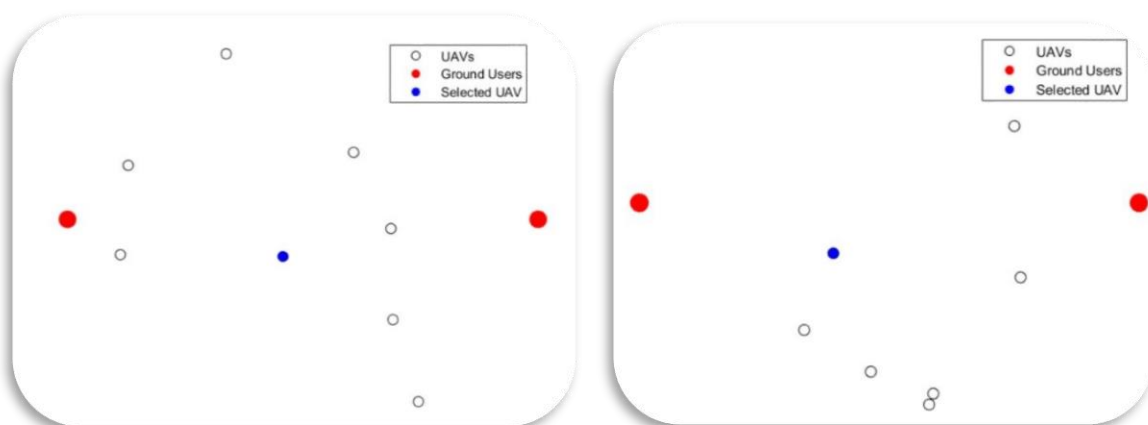
* تمامی نتایج آورده شده در این بخش از نتایج شبیه‌سازی‌های بدست آمده توسط خود استفاده شده است.

جدول (۳-۲) پارامترهای شبیه‌سازی

Parameter	Value	Parameter	Value
f	2 GHz	m_{AU_i}	2
A	(-600m,0,0)	$m_{U_i B}$	1
B	(600m,0,0)	Ω_{AU_i}	1
a	2	$\Omega_{U_i B}$	2

۱-۶-۳- شبیه سازی الگوریتم های انتخاب BDS, HM

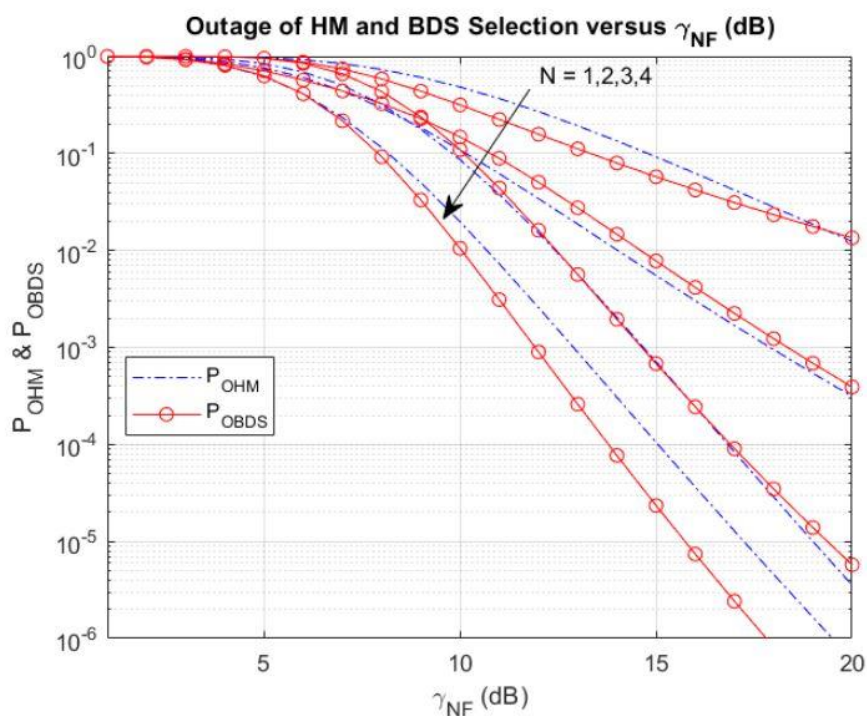
شکل های زیر نتایج الگوریتم های HM و BDS را بر روی سیستم مدل مربوطه بصورت گرافیکی نشان میدهد. در این شبیه سازی ابتدا بصورت رندوم پهنپاها بین دو کاربر A و B بصورت یکنواخت با فاصله ۵ متر توزیع شده که از تصادف آن ها هم جلوگیری و نیز بر روی هم اثر نداشته باشند و مستقل باشند، سپس هر یک از الگوریتم ها بر روی آن ها اجرا شده و در نهایت پهنپاد مورد نظر با توجه به الگوریتم مورد نظر انتخاب و مشخص شده است. با توجه به نتایج انتظار داریم در توان های ارسالی یکسان در ارتباط پایین و بالا، پهنپادی که وسط دو کاربر قرار دارد انتخاب شود و در نهایت مشاهده میشود که شبیه سازی نیز انتظارات را برآورده خواهد کرد.



شکل (۳-۶) شبیه سازی الگوریتم های HM (شکل چپ) و BDS (شکل راست)

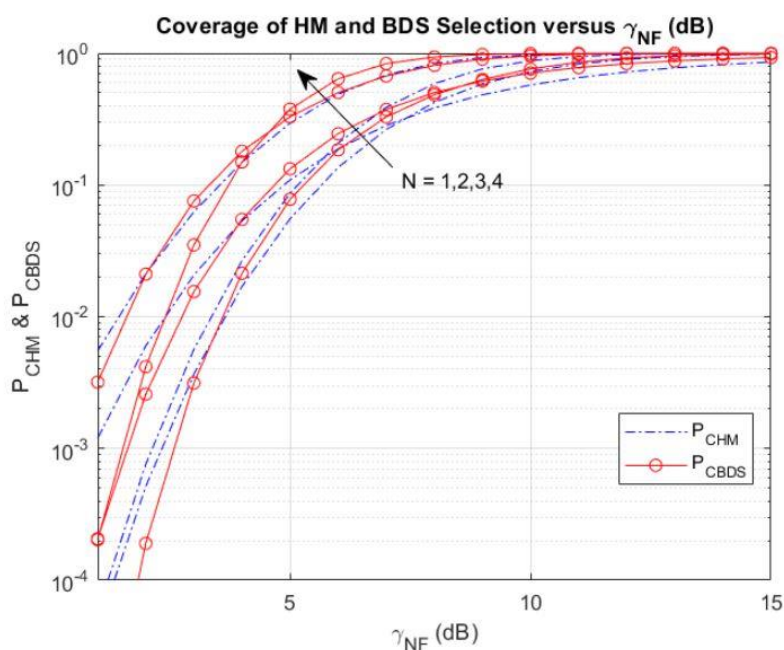
۲-۶-۳- شبیه سازی احتمال قطع و پوشش

شکل (۳-۷) احتمال قطع را در مقابل SNR انتقال برای استراتژی های انتخاب پهنپاد مبتنی بر BDS و HM نشان می دهد. صحت عبارات تحلیلی برای احتمال قطع در (۱۶) و (۱۷) به وضوح توسط شبیه سازی ها تأیید می شود. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می شود، استراتژی BDS پیشنهادی نسبت به HM از نظر پیچیدگی محاسبات برتری دارد. علاوه بر این، افزایش تعداد پهنپادها احتمال قطع را برای هر دو استراتژی انتخاب کاهش می دهد. برای $N=4$ ، احتمال زیر ۱۰-۶ وقتی $\gamma_{NF} < 20$ دسی بل است، در حالی که برای $N=3$ احتمال زیر 10^{-6} وقتی $\gamma_{NF} > 20$ dB است. همچنین، در مقادیر SNR پایین تر، انتخاب پهنپاد مبتنی بر BDS از معیار انتخاب مبتنی بر HM بهتر عمل می کند، در حالی که در SNRهای بالاتر، هر دو عملکرد قطع مشابهی دارند.



شکل (۳-۷) P_{OHM} و P_{OBDS} نسبت به γ_{NF} (dB) در $R=1$

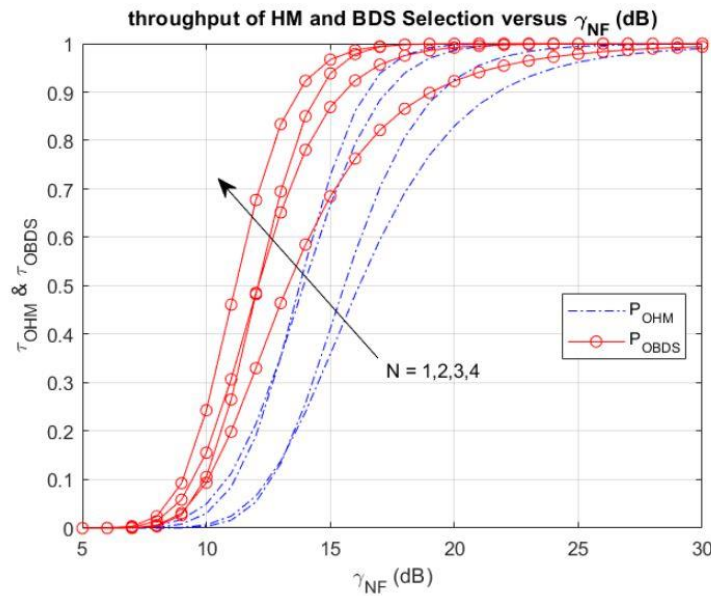
شکل (۳-۸) تغییر احتمال پوشش را در مقابل میانگین SNR برای تعداد مختلف پهپاد نشان می دهد. و عملکرد پوشش هر دو استراتژی انتخاب مبتنی بر HM و BDS مقایسه شده است. همانطور که مشاهده می شود، برای مقادیر پایین تر SNR عملکرد پوشش در استراتژی انتخاب مبتنی بر BDS به طور قابل توجهی بهتر از انتخاب مبتنی بر HM است در حالی که در مقادیر بالای SNR هر دو عملکرد مشابهی دارند.



شکل (۳-۸) P_{CHM} و P_{CBDS} نسبت به γ_{NF} (dB) در $R=1$

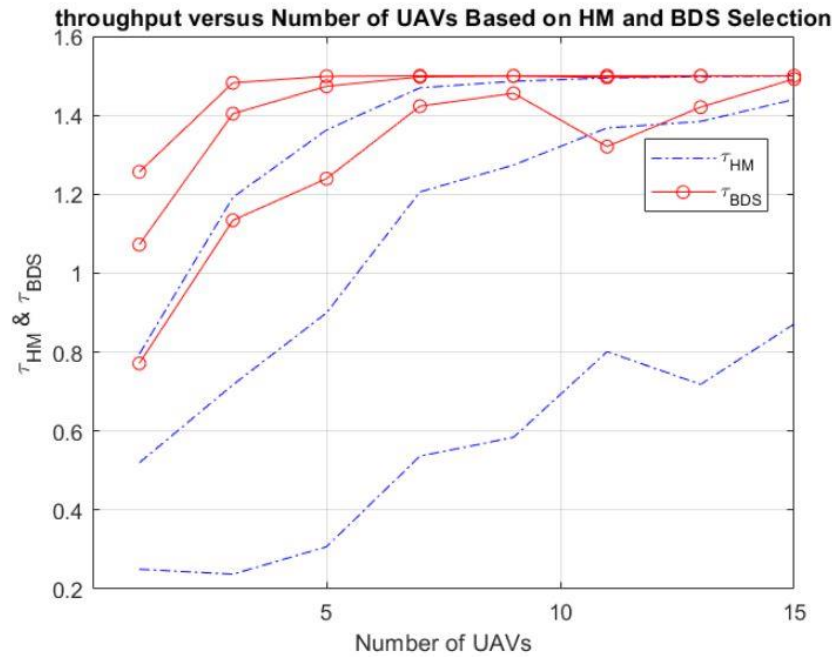
۳-۶-۳- شبیه سازی گذردهی

در شکل (۳-۹)، توان عملیاتی در مقابل میانگین SNR برای استراتژی های انتخاب پهنای باند بر HM و BDS ترسیم شده است. با افزایش N ، عملکرد توان عملیاتی هر دو استراتژی انتخاب BDS و HM بهبود می یابد. با توجه به اینکه برای $N = 4$ در $\gamma_{NF} = 15$ dB، $\tau_{BDS} = 0.945$ و $\tau_{HM} = 0.810$ می باشد، از این رو، طرح BDS بهتر از طرح HM عمل می کند.



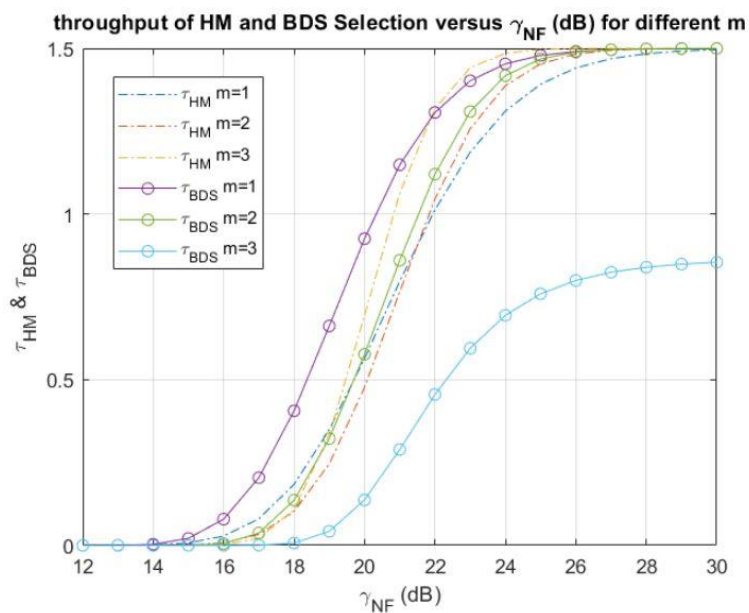
شکل (۳-۹) τ_{BDS} و τ_{HM} نسبت به γ_{NF} (dB) در $R=2$

شکل (۳-۱۰)، τ_{BDS} و τ_{HM} را نسبت به N در $R=3$ با انتقال توان برابر از هر دو ارتباط (روبه بالا و روبه پایین) را نشان می دهد، یعنی $P_{AUi} = P_{UiB} = P$ (dBm). نتیجه را برای سه مقدار مختلف توان انتقال، $P = \{18, 20, 22\}$ dBm به دست آورده شده است. به وضوح مشاهده می شود که استراتژی BDS عملکرد های مشابهی را با $P = 22$ dBm، $N = 7$ ، و با $P = 20$ dBm، $N = 13$ به دست می آورد. بنابراین، یک مبادله بین توان موجود و تعداد پهنای باند برای دستیابی به عملکرد مورد نظر ایجاد می شود.



شکل (۳-۱۰) τ_{HM} و τ_{BDS} نسبت به N در $R=3$

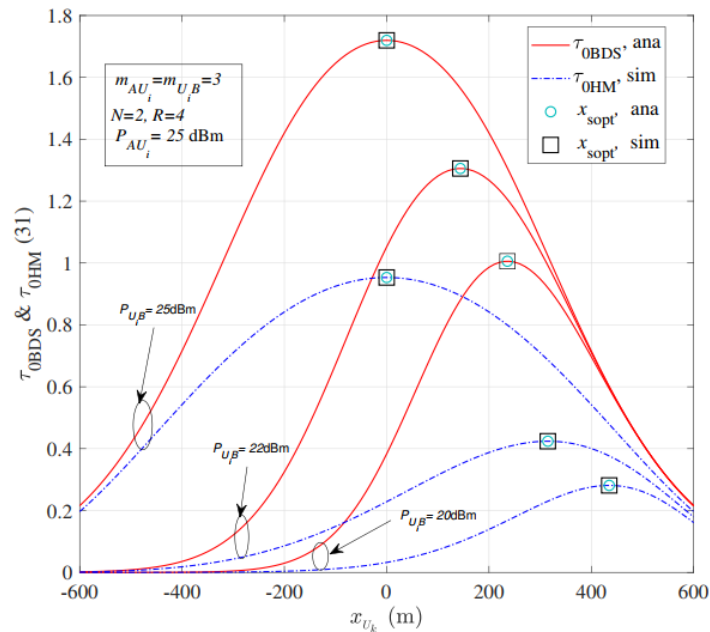
شکل (۳-۱۱)، τ_{HM} و τ_{BDS} را در مقابل γ_{NF} (dB) در $N=3$ ، $R=3$ نشان می دهد. و اثر $m_{UIB} = m_{AUI} = m$ بر عملکرد توان عملیاتی سیستم مشاهده می شود. در اینجا، $m = 1$ مربوط به بدترین حالت (محو شدن Rayleigh) است. مشاهده می شود که عملکرد شبکه با افزایش m برای مقادیر بالاتر γ_{NF} بهبود می یابد. علاوه بر این، ما همچنین مشاهده می شود که توان عملیاتی مورد نظر برای BDS در مقایسه با استراتژی HM در γ_{NF} پایین تر به دست می آید.



شکل (۳-۱۱) τ_{HM} و τ_{BDS} نسبت به γ_{NF} (dB) در $R=3$ و $N=3$

۴-۶-۳- شبیه سازی بهینه سازی گذردهی بر اساس مختصات پهپاد^۱

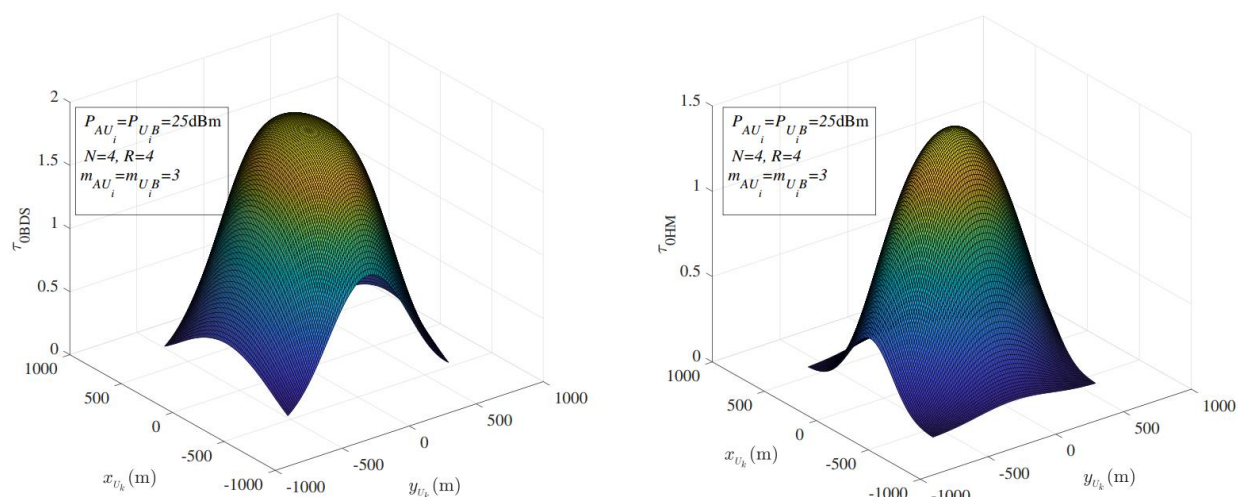
در شکل (۱۲-۳)، $\tau_{0\eta}$ نسبت به x_{Uk} برای هر دو استراتژی انتخاب BDS و HM در $m_{AU_i} = m_{UIB} = 3$ ، $N = 2$ ، $R = 4$ ، $P_{AU_i} = 25$ dBm و $y = 10$ m و $z = 100$ m برای مقادیر مختلف P_{UIB} ترسیم شده است. برای حالتی که $P_{AU_i} = P_{UIB}$ dBm می باشد، موقعیت بهینه در مرکز هر دو GU به دست می آید. در حالی که برای قدرت های نامتقارن موقعیت بهینه پهپاد تغییر می کند. به عنوان مثال؛ هنگامی که P_{UIB} کاهش می یابد، موقعیت بهینه به سمت کاربر B نزدیک تر می شود و توان عملیاتی قابل دستیابی نیز کاهش می یابد. از این رو، موقعیت بهینه پهپاد انتخاب شده به توان موجود در گره فرستنده بستگی دارد. همچنین، می توان به وضوح مشاهده کرد که توان عملیاتی (گذردهی) تابع مقعر x_{Uk} است که در پیوست ۳ اثبات شده است، بنابراین، x_{sopt} غیربهینه وجود دارد که توان عملیاتی را به حداکثر می رساند. همچنین می توان مشاهده کرد که مقادیر x_{sopt} بدست آمده دقیق هستند (مقادیر شبیه سازی شده نیز نشان داده شده است).



شکل (۱۲-۳) τ_{0HM} و τ_{0BDS} نسبت به x_{Uk}

^۱ * در این بخش از نتایج شبیه سازی مقاله استفاده شده است.

برای مقدار ثابت $Z_{Uk}=100$ m، شکل (۳-۱۳) به ترتیب $\tau_{0\eta}$ در مقابل x_{Uk} و y_{Uk} را برای استراتژی‌های BDS و HM نشان می‌دهند. این شبیه‌سازی در پارامترهای $P_{AU_i} = P_{UB_i} = 25$, $N = 4$, $m_{AU_i} = m_{UB_i} = 3$ به دست می‌آیند. به وضوح مشاهده می‌شود که زمانی که مختصات x_{Uk} و y_{Uk} به طور مشترک برای Z_{Uk} ثابت بهینه‌سازی شوند، توان عملیاتی به حداکثر مقدار می‌رسد. همچنین با دور شدن پهنای از موقعیت بهینه، توان عملیاتی کاهش می‌یابد.



شکل (۳-۱۳) τ_{0BDS} (شکل چپ) و τ_{0HM} (شکل راست) نسبت به x_{Uk} و y_{Uk}

فصل ۴:

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

۱-۴- مقدمه

در این پروژه ابتدا به رله ها و مخابرات مشارکتی و کاربرد و اثر آن ها در شبکه های سلولی پرداخته شد و سپس کاربرد پهپاد ها در این موضوع بررسی و از آن برای بهینه کردن پارامتر های شبکه مانند میزان سیگنال به نویز، گذردهی و احتمال پوشش و ... استفاده شد.

استفاده پهپاد ها در مخابرات مشارکتی با استراتژی های مختلفی میتواند صورت گیرد که ممکن است در هر کدام از این استراتژی ها بهینه سازی بر روی مسیر پهپاد، انتخاب بهترین پهپاد موجود، انتخاب بهترین مسیر بین پهپاد ها (انتخاب چند پهپاد) انجام گیرد. از طرفی این بهینه سازی ها مبتنی بر عوامل گوناگونی مانند تخصیص توان، میزان سیگنال به نویز، گذردهی، تخصیص فرکانس و ... انجام میشود.

۲-۴- محتوا

به ترتیب شامل موارد زیر است:

۱-۲-۴- جمع بندی

در این پروژه، از دو استراتژی انتخاب پهپاد (I بهترین HM و II BDS) را برای بهبود شبکه به کمک چندین پهپاد بررسی کردیم. علاوه بر این، عبارات شکل بسته احتمال قطع، توان عملیاتی و احتمال پوشش هر دو استراتژی انتخاب پهپاد را استخراج کردیم و برای یافتن مختصات بهینه پهپاد انتخاب شده، ما یک مسئله حداکثر سازی توان عملیاتی را فرموله کردیم و دو الگوریتم برای حل آن و بدست آوردن مختصات بهینه پیشنهاد کردیم. علاوه بر این، ما یک راه حل زیر بهینه برای مسئله بهینه سازی فرمول بندی شده با تبدیل آن به شکلی بسیار ساده تر پیشنهاد کرده ایم و از این رو، تقعر مسئله را با توجه به قرار دادن افقی پهپاد انتخاب شده ثابت کردیم. علاوه بر این، نتایج عددی نشان داد که استراتژی انتخاب مبتنی بر BDS در مقدار SNR پایین بهتر عمل می کند، با این حال، هر دو استراتژی انتخاب عملکرد مشابهی در موقعیت های SNR بالا دارند. و در نهایت، مبادلات مهم و دید در مورد وابستگی موقعیت بهینه به

الگوریتم‌های انتخاب نشان داده شد.

۲-۲-۴- پیشنهادها

استفاده از آنتن‌های متعدد در سمت کاربر A و B و پهپادها را در نظر بگیرید. برای انتقال uplink، سیگنال دریافتی در پهپاد k ام (دارای N_{Uk} آنتن) از کاربر A (دارای N_A آنتن) به صورت زیر می‌باشد:

$$y_{U_k A} = H_{U_k A} s_{U_k A} + w_{U_k A}$$

که در آن بردار سیگنال دریافتی با اندازه $N_{Uk} \times 1$ است، $H_{U_k A}$ بردار کانال با اندازه $N_{Uk} \times N_A$ است، بردار نویز سفید گوسی (AWGN) دریافتی با اندازه $N_{Uk} \times 1$ است، و $s_{U_k A}$ سمبل ارسالی است. بردار با اندازه $N_A \times 1$ ، که به نوع ارسال در A بستگی دارد. یک مورد ساده را در نظر بگیرید که در آن $s_{U_k A}$ شامل سیگنال داده ای است که با استفاده از بردار شکل دهی پرتو ارسال $b_{U_k A}$ در A ارسال می‌شود. در U_k ، پس از استفاده از دریافت بردار شکل دهی پرتو b_{U_k} ، SNR در U_k را می‌توان به صورت بیان کرد:

$$\gamma_{U_k A} = \frac{|b_{U_k}^H H_{U_k A} b_{U_k A}|^2}{\|b_{U_k}\|^2 \times \sigma^2},$$

جایی که σ^2 واریانس نویز است.

به طور مشابه برای downlink، سیگنال دریافتی در کاربر B (دارای N_B آنتن) از پهپاد k ام (دارای N_{Uk} آنتن) بصورت زیر بیان میشود:

$$y_{B U_k} = H_{B U_k} s_{B U_k} + w_{B U_k}$$

که در آن بردار سیگنال احیا شده با اندازه $N_B \times 1$ و $H_{B U_k}$ بردار کانال با اندازه $N_B \times N_{Uk}$ است. در اینجا، بردار نویز با اندازه $N_B \times 1$ را نشان می‌دهد و $s_{B U_k}$ نشان دهنده بردار سمبل ارسالی با اندازه $N_{Uk} \times 1$ است که به نوع ارسال در پهپاد k ام بستگی دارد. مشابه حالت Uplink، SNR ارتباط به پایین در

B را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\gamma_{BU_k} = \frac{|b_{U_k}^T H_{BU_k} b_{BU_k}|^2}{||b_B||^2 \times \sigma^2},$$

که در آن b_{BU_k} و b_B به ترتیب ماتریس شکل دهنده پرتو در فرستنده U_k و گیرنده B هستند. باید توجه داشت که در مورد MIMO، فاکتورهای زیادی مانند تعداد آنتن، شکل دهی پرتو، همبستگی کانال و تکنیک های ترکیبی نیز برای ارزیابی عملکرد در نظر گرفته می شود که تحلیل را پیچیده تر و گاهی اوقات غیر قابل حل می کند.

بنابراین برای سادگی تحلیلی و درک بهتر مدل پیشنهادی، در این پروژه دستگاه هایی با تک آنتن در نظر گرفته شده است. در کارهای آینده بر روی پهنای باند، این کار بر روی آنتن های متعدد همراه با چندین کاربر زمینی گسترش خواهد یافت، جایی که می توان استراتژی کارآمدتری برای MIMO برای بهبود عملکرد سیستم ابداع کرد.

مراجع

- [1] Duong, T. Q., & Zepernick, H. J. (2009). *On the performance gain of hybrid decode-amplify forward cooperative communications*. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2009, 12
- [2] Sharma, S., Shi, Y., Hou, Y. T., Sherali, H. D., & Kompella, S. (2010, March). Cooperative communications in multi-hop wireless networks: Joint flow routing and relay node assignment. *Paper presented at the Infocom, 2010, Proceedings IEEE, San Diego, CA*.
- [3] Nordio, A., Chiasserini, C., & ElBatt, T. (2012). *Fair traffic relaying for two-source-one-destination wireless networks*. IEEE Wireless Communications Letters, 1(1), 1–4.
- [4] Van Der Meulen, E. C. (1971). *Three-terminal communication channels*. Advances in Applied Probability, 3(1), 120–154.
- [5] Cover, T., & Gamal, A. E. (1979). *Capacity theorems for the relay channel*. IEEE Transactions on Information Theory, 25(5), 572–584.
- [6] Yongchul, K., & Sichitiu, M. L. (2011). *Optimal placement of transparent relay stations in 802.16 j mobile multihop relay networks*. IEICE Transactions on Communications, 94(9), 2582–2591.
- [7] Sharma, V., & Jain, D. (2010). *Multihop cellular networks: A review*. International Journal of Engineering Science, 2(11), 6082–6091.
- [8] Frodigh, M., Johansson, P., & LaRSSon, P. (2000). *Wireless ad hoc networking-the art of networking without a network*. Ericsson Review, 4(4), 249.
- [9] Williams, B., & Camp, T. (2002, March). Comparison of broadcasting techniques for mobile ad hoc networks. *Paper presented at the 3rd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing, New York, NY*.
- [10] Pabst, R., Walke, B. H., Schultz, D. C., Herhold, P., Yanikomeroglu, H., Mukherjee, S., et al. (2004). *Relay-based deployment concepts for wireless and mobile broadband radio*. IEEE Communications Magazine, 42(9), 80–89.
- [11] Li, X. J., Seet, B. C., & Chong, P. H. J. (2008). *Multihop cellular networks: Technology and economics*. Computer Networks, 52(9), 1825–1837.
- [12] Drucker, E. H. (1988, June). Development and application of a cellular repeater. *Paper presented at the IEEE 38th Vehicular Technology Conference, Philadelphia, PA*.
- [13] Seo, H., Mok, I., & Lee, B. G. (2007). *Determination of optimal transmission power in wireless relay networks with generalized error model*. IEEE Transactions on Wireless Communications, 6(12), 4233–4237.
- [14] Zheng, K., Lei, L., Wang, Y., Lin, Y., & Wang, W. (2011). *Quality-of-service performance bounds in wireless multi-hop relaying networks*. IET Communications, 5(1), 71–78
- [15] Joshi, G., & Karandikar, A. (2011, January). Optimal relay placement for cellular coverage extension. *Paper presented at the 2011 National Conference on Communications (NCC), Bangalore, India*.
- [16] Boccardi, F., Yu, K., & Alexiou, A. (2009). Relay-aided multiple antenna transmissions for wireless backhaul applications. *Bell Labs Technical Journal*, 13(4), 161–173.
- [17] De Moraes, T. M., Nisar, M. D., Gonzalez, A. A., & Seidel, E. (2012). *Resource allocation in relay enhanced LTE-advanced networks*. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2012(1), 364.
- [18] Chiang, M. (2005). *Balancing transport and physical layers in wireless multihop networks: Jointly optimal congestion control and power control*. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 23(1), 104–116.

- [19] Hyytiä, E., & Virtamo, J. (2007). On traffic load distribution and load balancing in dense wireless multihop networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2007(1), 21–21.
- [20] Liu, H., Wan, P., & Jia, X. (2006). On optimal placement of relay nodes for reliable connectivity in wireless sensor networks. *Journal of Combinatorial Optimization*, 11(2), 249–260.
- [21] Wei, H. Y., & Gitlin, R. D. (2004). Two-hop-relay architecture for next-generation WWAN/ WLAN integration. *IEEE Wireless Communications Magazine*, 11(2), 24–30.
- [22] Rappaport, T. S. (1996). *Wireless communications: Principles and practice (2). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR.*
- [23] Bulakci, O. (2012b). On backhauling of relay enhanced networks in LTE-advanced. *arXiv preprint arXiv, Department of Communications and Networking, Aalto University: 1202.0212, Helsinki.*
- [24] Muñoz, J., Coll-Perales, B., & Gozalvez, J. (2010, October). Research testbed for field testing of multi-hop cellular networks using mobile relays. *Paper presented at the 2010 IEEE 35th Conference on Local Computer Networks (LCN), Denver, CO.*
- [25] Peters, S. W., & Heath, R. W. (2009). The future of WiMAX: multihop relaying with IEEE 802.16 j. *IEEE Communications Magazine*, 47(1), 104–111.
- [26] Sui, Y., Papadogiannis, A., Yang, W., & Svensson, T. (2012b, December). Performance comparison of fixed and moving relays under co-channel interference. *Paper presented at the 2012 IEEE Globecom Workshops (GC Workshops), Anaheim, CA.*
- [27] A. Nosratinia, T. E. Hunter and A. Hedayat, “Cooperative communication in wireless networks,” in *IEEE Communications Magazine*, vol. 42, no. 10, pp. 74-8, 2004.
- [28] Saad, W., Bennis, M., Mozaffari, M., & Lin, X. (2020). *Wireless Communications and Networking for Unmanned Aerial Vehicles*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781108691017
- [29] H. Wang, G. Ding, F. Gao, J. Chen, J. Wang, and L. Wang, “Power control in UAV-supported ultra dense networks: Communications, caching, and energy transfer,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 56, no. 6, pp. 28–34, Jun. 2018.
- [30] J. Lyu, Y. Zeng, and R. Zhang, “UAV-aided offloading for cellular hotspot,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 17, no. 6, pp. 3988–4001, Jun. 2018.
- [31] H. Wang, J. Wang, G. Ding, J. Chen, Y. Li, and Z. Han, “Spectrum sharing planning for full-duplex UAV relaying systems with underlaid D2D communications,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 36, no. 9, pp. 1986–1999, Sep. 2018.
- [32] F. Huang, J. Chen, H. Wang, G. Ding, Y. Gong, and Y. Yang, “Multiple UAV-assisted SWIPT in internet of things: User association and power allocation,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 124244–124255, 2019.
- [33] J. Zhang, Y. Zeng, and R. Zhang, “UAV-enabled radio access network: Multi-mode communication and trajectory design,” *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 66, no. 20, pp. 5269–5284, Oct. 2018.
- [34] H. Mei, K. Wang, D. Zhou, and K. Yang, “Joint trajectory-task-cache optimization in UAV-enabled mobile edge networks for cyber-physical system,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 156476–156488, 2019.
- [35] Y. Zeng, R. Zhang, and T. J. Lim, “Wireless communications with unmanned aerial vehicles: Opportunities and challenges,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 5, pp. 36–42, May 2016.
- [36] Y. Zeng, R. Zhang, and T. J. Lim, “Throughput maximization for UAV enabled mobile relaying systems,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 64, no. 12, pp. 4983–4996, Dec. 2016.
- [37] Q. Wu, L. Liu, and R. Zhang, “Fundamental trade-offs in communication and trajectory design for UAV-enabled wireless network,” *IEEE Wireless Commun.*, vol. 26, no. 1, pp. 36–44, Feb. 2019.
- [38] P. Zhan, K. Yu, and A. Lee Swindlehurst, “Wireless relay communications using an unmanned aerial vehicle,” in *IEEE 7th Workshop Signal Process. Advances Wireless Commun. (SPAWC)*, Jul. 2006, pp. 1–5.
- [39] Q. Wang, Z. Chen, W. Mei, and J. Fang, “Improving physical layer security using UAV-enabled mobile relaying,” *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol. 6, no. 3, pp. 310–313, Jun. 2017.

- [40] E. Larsen, L. Landmark, and O. Kure, "Optimal UAV relay positions in multi-rate networks," in *Wireless Days*, Mar. 2017, pp. 8–14.
- [41] Y. Chen, W. Feng, and G. Zheng, "Optimum placement of UAV as relays," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 22, no. 2, pp. 248–251, Feb. 2018.
- [42] R. Fan, J. Cui, S. Jin, K. Yang, and J. An, "Optimal node placement and resource allocation for UAV relaying network," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 22, no. 4, pp. 808–811, Apr. 2018.
- [43] S. Hanna, E. Krijestorac, H. Yan, and D. Cabric, "UAV swarms as amplify-and-forward MIMO relays," in *IEEE 20th Int. Workshop Signal Process. Advances Wireless Commun. (SPAWC)*, Jul. 2019, pp. 1–5.
- [44] M. T. Dabiri and S. M. S. Sadough, "Optimal placement of UAV-assisted free-space optical communication systems with DF relaying," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 24, no. 1, pp. 155–158, Jan. 2020.
- [45] Y. Zhang, J. Huang, Y. Shi, and R. Su, "Design of an UAV-based automatic relay system," in *Chinese Automation Congress (CAC)*, Nov. 2019, pp. 4181–4185.
- [46] W. Saad, M. Bennis, M. Mozaffari, and X. Lin, *Wireless Communication and Networking for Unmanned Aerial Vehicles*. Cambridge University Press, Mar. 2020.
- [47] Y. Jing and H. Jafarkhani, "Single and multiple relay selection schemes and their achievable diversity orders," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 3, pp. 1414–1423, Mar. 2009.
- [48] J. Lee and N. Al-Dhahir, "Exploiting sparsity for multiple relay selection with relay gain control in large AF relay networks," *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol. 2, no. 3, pp. 347–350, Jun. 2013.
- [49] H. Gao, S. Zhang, Y. Su, M. Diao, and M. Jo, "Joint multiple relay selection and time slot allocation algorithm for the EH-abled cognitive multi-user relay networks," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 111 993–112 007, Aug. 2019.
- [50] D. Darsena, G. Gelli, and F. Verde, "Design and performance analysis of multiple-relay cooperative MIMO networks," *J. Commun. Netw.*, vol. 21, no. 1, pp. 25–32, Feb. 2019.
- [51] Y. Chen, X. Liu, N. Zhao, and Z. Ding, "Using multiple UAVs as relays for reliable communications," in *IEEE 87th Veh. Technol. Conf. (VTC Spring)*, Jun. 2018, pp. 1–5.
- [52] Y. Chen, N. Zhao, Z. Ding, and M. Alouini, "Multiple UAVs as relays: Multi-hop single link versus multiple dual-hop links," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 17, no. 9, pp. 6348–6359, Sep. 2018.
- [53] S. Yin, Y. Zhao, L. Li, and F. R. Yu, "UAV-assisted cooperative communications with time-sharing information and power transfer," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 69, no. 2, pp. 1554–1567, Feb. 2020.
- [54] Q. Chen, "Joint position and resource optimization for multi-UAV-aided relaying systems," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 10 403–10 415, Jan. 2020.
- [55]

پیوست‌ها

پیوست ۱

تابع توزیع تجمعی (CDF)، γ_i بصورت زیر محاسبه میشود :

$$\begin{aligned}
 F_{\gamma_i}(\gamma) &= Pr(\gamma_i \leq \gamma) = Pr\left(\frac{\gamma_{AU_i} \gamma_{U_iB}}{\gamma_{AU_i} + \gamma_{U_iB}} \leq \gamma\right) \\
 &= \int_0^\infty Pr\left\{\frac{\gamma_{AU_i} \cdot \mathfrak{z}}{\gamma_{AU_i} + \mathfrak{z}} \leq \gamma \mid \gamma_{U_iB} = \mathfrak{z}\right\} f_{\gamma_{U_iB}}(\mathfrak{z}) d\mathfrak{z} \\
 &= F_{\gamma_{U_iB}}(\gamma) + \int_\gamma^\infty F_{\gamma_{AU_i}}\left(\frac{\gamma \mathfrak{z}}{\mathfrak{z} - \gamma}\right) f_{\gamma_{U_iB}}(\mathfrak{z}) d\mathfrak{z} \\
 &= 1 - \int_\gamma^\infty \frac{\Gamma\left(m_{AU_i}, \frac{\gamma \mathfrak{z}}{\hat{\gamma}_{AU_i}(\mathfrak{z} - \gamma)}\right)}{\Gamma(m_{AU_i})} f_{\gamma_{U_iB}}(\mathfrak{z}) d\mathfrak{z}. \tag{37}
 \end{aligned}$$

Using [37, Eq.6.5.32]:

$$\begin{aligned}
 F_{\gamma_i}(\gamma) &= 1 - \sum_{p=0}^{m_{AU_i}-1} \int_\gamma^\infty \exp\left(-\frac{\gamma \mathfrak{z}}{\hat{\gamma}_{AU_i}(\mathfrak{z} - \gamma)}\right) \\
 &\quad \times \left(\frac{(\gamma \mathfrak{z})^p}{p! \left(\hat{\gamma}_{AU_i}(\mathfrak{z} - \gamma)\right)^p}\right) \frac{(\mathfrak{z})^{(m_{U_iB}-1)} \exp\left(\frac{-\mathfrak{z}}{\hat{\gamma}_{U_iB}}\right)}{(\hat{\gamma}_{U_iB})^{m_{U_iB}} \Gamma(m_{U_iB})} d\mathfrak{z}. \tag{38}
 \end{aligned}$$

Substituting $z - \gamma = u$ and finally we obtain:

$$F_{\gamma_i}(\gamma) = 1 - \frac{\exp\left(-\gamma\left(\frac{1}{\hat{\gamma}_{AU_i}} + \frac{1}{\hat{\gamma}_{U_iB}}\right)\right)}{\left(\hat{\gamma}_{U_iB}\right)^{m_{U_iB}}\Gamma(m_{U_iB})} \sum_{p=0}^{m_{AU_i}-1} \frac{\gamma^p}{p! \left(\hat{\gamma}_{AU_i}\right)^p} \int_0^\infty u^{-p}(\gamma+u)^{\left(p+m_{U_iB}-1\right)} \exp\left(-\frac{\gamma^2}{\gamma_{AU_i}u} - \frac{u}{\gamma_{U_iB}}\right) du. \quad (39)$$

bionimal expansion of $(\gamma+u)^{\left(p+m_{U_iB}-1\right)}$:

Substituting $z - \gamma = u$ and finally we obtain:

$$F_{\gamma_i}(\gamma) = 1 - \frac{2\exp\left(-\gamma\left(\frac{1}{\hat{\gamma}_{AU_i}} + \frac{1}{\hat{\gamma}_{U_iB}}\right)\right)}{\left(\hat{\gamma}_{U_iB}\right)^{m_{U_iB}}\Gamma(m_{U_iB})} \sum_{p=0}^{m_{AU_i}-1} \frac{\gamma^p}{p! \left(\hat{\gamma}_{AU_i}\right)^p} \sum_{t=0}^{p+m_{U_iB}-1} \binom{p+m_{U_iB}-1}{t} \gamma_{th}^{\left(p+m_{U_iB}-t-1\right)} \int_0^\infty u^{t-p} \exp\left(-\frac{\gamma^2}{\gamma_{AU_i}u} - \frac{u}{\gamma_{U_iB}}\right) du. \quad (40)$$

Solving the integral using [38, Eq. 3.471.9]:

$$\begin{aligned}
 F_{\gamma_i}(\gamma) = & 1 - \frac{2 \exp\left(-\gamma\left(\frac{1}{\hat{\gamma}_{AU_i}} + \frac{1}{\hat{\gamma}_{U_iB}}\right)\right)}{\left(\hat{\gamma}_{U_iB}\right)^{m_{U_iB}} \Gamma(m_{U_iB})} \sum_{p=0}^{m_{AU_i}-1} \frac{\gamma^p}{p! \left(\hat{\gamma}_{AU_i}\right)^p} \\
 & \sum_{t=0}^{p+m_{U_iB}-1} \binom{p+m_{U_iB}-1}{t} \gamma_{th}^{(p+m_{U_iB}-t-1)} \\
 & \left(\frac{\gamma^2 \hat{\gamma}_{U_iB}}{\hat{\gamma}_{AU_i}}\right)^{\frac{(t-p+1)}{2}} K_{t-p+1} \left(2 \sqrt{\frac{\gamma^2}{\hat{\gamma}_{AU_i} \hat{\gamma}_{U_iB}}}\right). \tag{41}
 \end{aligned}$$

پیوست ۲

در صورتی که سیگنال به نویز در کاربر B که از الگوریتم BDS استفاده میکند را بصورت یک متغیر تصادفی θ_i تعریف شود، تابع چگالی احتمال آن را میتوان بصورت زیر نوشت :

$$f_{\theta_i}(\gamma) = f_{\theta_i|i \notin C}(\gamma) Pr(i \notin C) + f_{\theta_i|i \in C}(\gamma) Pr(i \in C) \quad (42)$$

که $Pr(i \in C)$ و $Pr(i \notin C)$ به ترتیب احتمالات زمانی هستند که ارتباط A- U_i در حالت قطع و غیر قطع باشد. $f_{\theta_i|i \notin C}(\gamma)$ تابع چگالی احتمال (PDF) مشروط Θ_i نسبت به U_i هنگامی که قطع است، زمانی که ارتباط A- U_i در حالت قطع باشد، برابر با تابع دلتا $\delta(\gamma)$ خواهد بود که منجر به قطع سراسری ارتباط می‌شود. از آنجایی که (۱۶) این احتمال را می‌دهد که U_i شرایط ذخیره شدن در مجموعه C را ندارد، بنابراین $1 - P_{out}^{AU_i}$ احتمال وجود U_i در مجموعه C خواهد بود. از (۱۶) میتوان متوجه شد که احتمال قطع برابر با $P_{out}^{AU_i}$ است.

$$P_{out}^{AU_i} = 1 - \frac{\Gamma\left(m_{AU_i}, \frac{\gamma_{th}}{\hat{\gamma}_{AU_i}}\right)}{\Gamma(m_{AU_i})} \quad (43)$$

conditional PDF $f_{\theta_i|i \in C}(\gamma)$:

$$f_{\theta_i|i \in C}(\gamma) = \frac{(\gamma)^{(m_{U_iB}-1)} e^{-\gamma/\hat{\gamma}_{U_iB}}}{(\hat{\gamma}_{U_iB})^{m_{U_iB}} \Gamma(m_{U_iB})}; \quad x \geq 0. \quad (44)$$

\Rightarrow Using (43) and (44) into (42) :

$$f_{\theta_i}(\gamma) = \left(1 - \frac{\Gamma\left(m_{AU_i}, \frac{\gamma}{\hat{\gamma}_{AU_i}}\right)}{\Gamma(m_{AU_i})} \right) \delta(\gamma) + \left(\frac{\Gamma\left(m_{AU_i}, \frac{\gamma}{\hat{\gamma}_{AU_i}}\right)}{\Gamma(m_{AU_i})} \right) \times \frac{\left(\hat{\gamma}_{U_iB}\right)^{-m_{U_iB}} x^{m_{U_iB}-1}}{\Gamma(m_{U_iB})} \exp\left(-\frac{\gamma}{\hat{\gamma}_{U_iB}}\right); \quad x \geq 0. \quad (45)$$

CDF is yields by:

$$F_{\theta_i}(\gamma) = \int_{\gamma}^{\infty} f_{\theta_i}(\gamma) d\gamma \quad (46)$$

پیوست ۳

اثبات مقعر بودن τ_{0BDS} نسبت به (X_{Uk}) :

ابتدا برای اثبات مشتق گذردهی نسبت به X_{Uk} حساب می‌کنیم:

$$\tau_{0BDS}' = - \frac{aRN(F_{\theta_k})^{N-1}}{2\Gamma(m_{AU_k})\Gamma(m_{U_kB})} \times \left[\frac{(x_{U_k} - x_B) e^{-\gamma_{th}/\hat{\gamma}_{U_kB}} \Gamma\left(m_{AU_k}, \frac{\gamma_{th}}{\hat{\gamma}_{AU_k}}\right)}{E_{U_kB} \left(\frac{\hat{\gamma}_{AU_k}}{\gamma_{th}}\right)^{m_{U_kB}}} + \frac{(x_{U_k} - x_A) e^{-\gamma_{th}/\hat{\gamma}_{AU_k}} \Gamma\left(m_{U_kB}, \frac{\gamma_{th}}{\hat{\gamma}_{U_kB}}\right)}{E_{AU_k} \left(\frac{\hat{\gamma}_{AU_k}}{\gamma_{th}}\right)^{m_{AU_k}}} \right] \quad (47)$$

تمام پارامترهای مربوط به لینک‌های رو به پایین و رو به بالا را به جز موقعیت طولی کاربر A و B (x_A, x_B) یکسان در نظر گرفته میشود و سپس $\tau'_{0BDS} = 0$ را حل میکنیم و داریم:

$$x_{U_k} = \frac{(x_A + x_B)}{2}. \quad (48)$$

علاوه بر این مشخص است که $\tau_{0BDS}'' < 0$ (مشتق دوم منفی است) در x بدست آمده در (۴۸) منفی

است. بنابراین مقعر بودن τ_{0BDS} نسبت به (X_{Uk}) ثابت شد.

با استدلال مشابه، میتوان ثابت کرد که برای الگوریتم HM نیز مقعر است.

Abstract:

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have witnessed new developments in recent years due to cost reduction and efficiency enhancement, and are considered as a promising option for key scenarios in fifth generation (5G) wireless communication systems. One of their important applications in communication systems is as an aerial base station or as a mobile relay. It can be said that most drone communication applications include device-to-device communication, cellular networks, cache memory, and data upload. One potential application for UAV-assisted wireless communication is to be used as a relay in cooperative telecommunication systems, as UAVs can find better locations with more favorable channel conditions. In this sense, collaborative communication with acceptable channel conditions can still be maintained even when the direct link between source and destination is severely blocked. Despite its advantages over conventional wireless communications, UAV-assisted wireless communication still faces significant challenges. This project focuses on the second application where drones are used as relays. In many cases, multiple UAVs are used in groups and with different topologies as multi-relay communication, which is the main goal of this project. And challenges such as the position of UAV relays for the best relay performance are addressed with the constraints of optimizing communication network parameters such as throughput between transmitter and receiver, signal-to-noise ratio, lowest rate between transmitter and receiver, etc. and are optimized with optimization algorithms.

Keywords: Unmanned aerial vehicles, cooperative communication, throughput, telecommunication relays



Iran University of Science and Technology
Electrical Engineering Department

Cooperative Communication with Multi-UAVs

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Degree of Bachelor of Science in Telecommunication Engineering**

By:
Amirhosein Pourdavoud

Supervisor:
Dr. S. Mohammad Razavizade

September 2022