



نقش شبکه اضطراری 5G (mmwave_sub-6 GHZ) برای خط دید بهتر از فضای باز به داخل ساختمان ها به کمک پهپادها

مسعود بیات زاده^{۱*}، حمید کربلایی حسنی^۲، میثم چگنی^۳

۱- کارشناسی ارشد مدیریت دولتی، کارمند سازمان آتش نشانی و خدمات ایمنی شهرداری اراک، مرکزی، ایران

۲- کارشناسی ارشد مدیریت دولتی، معاون برنامه ریزی و پشتیبانی سازمان آتش نشانی و خدمات ایمنی شهرداری اراک، مرکزی،

ایران

۳- کارشناسی عمران، مربی آموزش سازمان آتش نشانی و خدمات ایمنی شهرداری اراک، مرکزی، ایران

*masoud.bayatzaeh66@gmail.com

ارسال: اردیبهشت ماه ۱۴۰۲ پذیرش: خرداد ماه ۱۴۰۲

چکیده

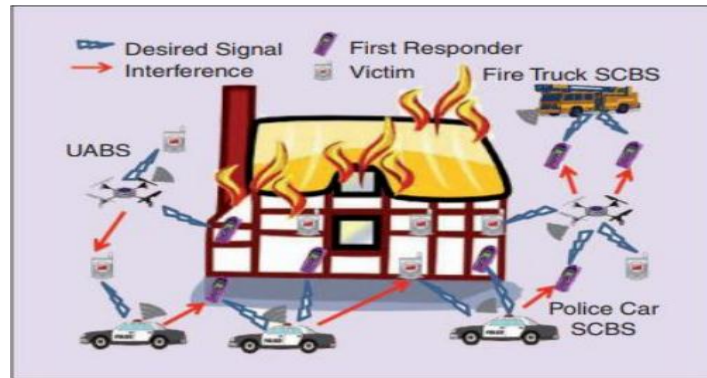
برای عملیات های واکنش اضطراری در آتش نشانی مانند اطفای حریق در محیط های شهری و صنعتی نیاز به پاسخ دهنده های اضطراری در داخل مکان های دچار حادثه مخصوصاً ساختمان ها و همچنین پشتیبانی از یک پیوند ارتباطی با پهناهای باند بالا بین پاسخ دهندگان و مرکز فرماندهی و کنترل وجود دارد. شبکه های اضطراری برای چنین عملیات هایی را می توان با استقرار سریع وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین (UAV) ایجاد کرد علاوه بر این تحریک سه بعدی، پهپادها می توانند برای کیفیت پیوند بی سیم با مانور دادن آنها به مکان های دچار حادثه مورد استفاده قرار گیرند این امر نیاز به اندازه گیری کانال های هوا به زمین در ارتفاع پایین با استفاده از شبکه 5G (mmwave_sub-6 GHZ) می باشد در این سناریو ما یک مدل برای پیوند در یک مکان اضطراری و یا سیستم ارتباطی با کمک پهپاد ایجاد می کنیم باید این احتمال را در نظر گرفت که یک مسیر بسته در خط دید LOS (line_of_sight) و شبکه ارتباطات وجود دارد مانند محل پایه (UAV)، اندازه ساختمان و اندازه پنجره ها که بهترین مسیر انتشار پارامترهای ما می باشد در این تحقیق با توجه به احتمالات در نظر گرفته شده و پوشش خط دید برای تجزیه و تحلیل محل انتشار در فضای باز برای تعیین موقعیت یابی مطلوب پهپادها مورد نیاز و برای رسیدن به عملکرد بهتر شبکه اضطراری مورد استفاده قرار می گیرد.

واژگان کلیدی: خط دید LOS، پهناهای باند، شبکه 5G (mmwave_sub-6 GHZ)، پهپاد، تحریک سه بعدی.

۱- مقدمه

برای عملیات های امداد و نجات در صحنه حادثه اغلب پرسنل آتش نشانی، اورژانس و پلیس خدمات می دهند در این رویدادها نیاز به بومی سازی پاسخ دهندگان سریع اضطراری در داخل ساختمان و انتقال یک فیلم ویدئویی با کیفیت بالا در زمان واقعی به مرکز فرماندهی خارج از ساختمان برای آگاهی موقعیت می باشد [۱-۲]. ضمناً در شرایط بحرانی و آسیب دیدن زیر ساخت های ارتباطی شرکت ارتباطات Verizon با استفاده از وسیله نقلیه جدید خود به نام THOR در زمان هایی که به دلیل بلایای طبیعی، زیر ساخت های ارتباطیشان آسیب دیده است از طریق فن آوری بی سیم ultra wideband و 5G شبکه اینترنت موبایل با سرعت بالا برپا کند و با این کار به امدادگران در خط مقدم و یا حتی مردم منطقه کمک کند.

اغلب صحنه حادثه توسط تعدادی از ایستگاه های پایه سلول کوچک که در اتومبیل های پلیس، کامیون های آتش نشانی و پهپادها تعبیه شده اند سرویس دهی می شود ایستگاه های پایه سلول کوچک اتصال به موقع به پهنای باند را برای امدادگران و قربانیان را به طور معمول برای هدف آگاهی عمیق از طریق پخش ویدیویی بی سیم به صورت آتی فراهم می کند در ارائه سیگنال بی سیم و پهنای باند بالا دو جهت یک مزیت خوب داریم زیرا می توان از آن برای ارائه اطلاعات پاسخ دهندگان با زمان واقعی استفاده کرد علاوه بر این علائم حیاتی و سایر اطلاعات بهداشتی بحرانی در مورد مجروحین و مصدومین می تواند به کادر پزشکی قبل از خارج کردن کمک کند [۳]. در این سناریو های واکنش اضطراری محیط انتشار سیگنال بی سیم بین یک ایستگاه پایه BS^1 واقع در خارج از ساختمان تا یک ایستگاه سیاره MS^2 واقع در داخل ساختمان است.



شکل ۱- سناریوی آتش سوزی ساختمان [۴]

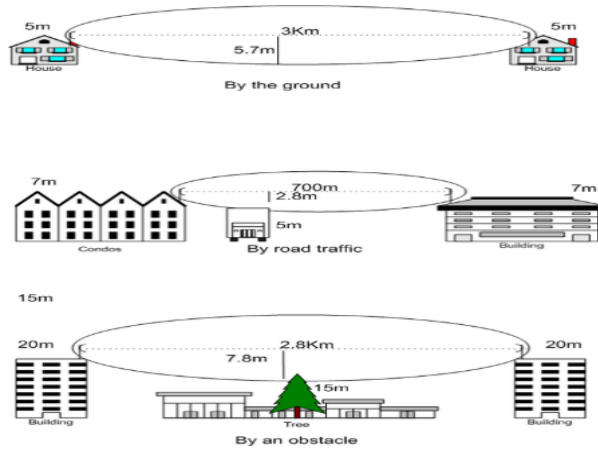
استفاده از پهپادها برای کمک به استقرار شبکه های بی سیم اضطراری برای کاهش اتکا به زیرساخت های سلولی می باشد یکی از دلایل این است که تحریک سه بعدی پهپادها می تواند برای مانورهای ایستگاه های پایه نصب شده بر روی پهپادها در موقعیت های بهتر که لینک های بی سیم کیفیت بالاتری را ارائه می دهند مورد استفاده قرار گیرند اخیراً کمپین های اندازه گیری انتشار از فضای باز به داخل با استفاده از پهپادها در هر دو باند $5G$ sub6 GHz (1GHz-6GHz) [۵] و mmWave (24GHz-43.5GHz) انجام شده است [۶]. در مطالعات اخیر، محققان خاطر نشان کرده اند که افت مسیر در درجه اول به مصالح ساختمانی و سطح پنجره ها بستگی دارد. این انگیزه یک مطالعه تحلیلی را برای بررسی تأثیر پنجره ها، هندسه ساختمان و موقعیت نسبی ایستگاه سیار بر کیفیت پیوند، که هدف اصلی مقاله است ایجاد می کند. یکی از شرایطی که بر کیفیت پیوند تأثیر می گذارد این است که آیا مسیر مستقیم بین فرستنده و گیرنده مسدود است یا نه [۷]. برای تحلیل های سطح سیستم احتمال LoS^3 ، معیاری است. که اهمیت احتمال خط دید برای عملکرد سیستم در قراردادن آن در مدل های 3GPP دیده می شود [۸]. به طور کلی سه رویکرد اصلی برای توصیف احتمال خط دید اتخاذ شده است: (۱) روش های تجربی که از برازش منحنی از اندازه گیری های دنیای واقعی استفاده می کنند. (۲) روش های مبتنی بر نقشه که از ابزارهایی مانند ردیابی پرتو برای مدل سازی اثرات الکترومغناطیسی استفاده می کنند (۳) روش های تصادفی که بر مدل مناسبی از محیط مورد بررسی تکیه می کنند. در حالی که هر یک از این روش ها دارای مزایای نسبی هستند، رویکرد سوم به ویژه در به دست آوردن مدل های قابل حمل که می توانند در تجزیه و تحلیل های سطح سیستم بزرگتر گنجانده شوند، مفید است. از سوی دیگر، دو مورد اول تا حد زیادی محدود به محیط های خاص هستند و بنابراین تعمیم آن دشوارتر است. مفهوم مناطق فرنل به طور گسترده برای استخراج احتمال خط دید در محیط های بیرونی و داخلی استفاده شده است، اما تا آنجا که ما می دانیم، نه محیط های داخلی و خارجی [۹]. تلفات پراش اطراف ساختمان ها را در نظر می گیرند و از درصد نفوذ یک مانع در داخل اولین منطقه فرنل به عنوان یک شرط خط دید استفاده می کنند [۱۰]. از همان شرایط خط دید در سناریوهای مختلف فضای باز برای استخراج احتمال خط دید استفاده می کند و نشان می دهد که این رویکرد با مدل های تجربی در استانداردهای 3GPP

¹ Base station

² Mobile station

³ line_of_sight

مطابقت دارد [۱۱]. از مدل انتشار دو پرتو و مدل پراش لبه چاقو^۱ (KED) برای نشان دادن اعتبار تعریف شرط خط دید بر اساس نسبت نفوذ یک انسداد در اولین منطقه آفرنل به صورت تحلیلی و عددی استفاده می‌کنند. هر یک از این کارها احتمال خط دید را استخراج می‌کند و اثرات آن را بر کیفیت پیوند بی سیم نشان می‌دهد. از همان شرایط خط دید برای سناریوهای جدید استفاده شده است [۱۲]، [۱۳] که در آن از داده‌های ابر نقطه‌ای در مدل خود برای به دست آوردن احتمال خط دید برای (i) یک میدان باز شهری، (ii) یک مرکز خرید سرپوشیده استفاده کرده‌اند. و (iii) سناریوهای اداری سرپوشیده استفاده می‌شود [۱۴] احتمال خط دید را در واکنش‌های مترو مدل‌سازی کرده‌اند



شکل ۲- سناریوی آتش سوزی ساختمان

جدول ۱- پارامترهای مدل با مقادیر معمولی

پارامتر	نماد	محدوده
اتاق کم نور	L_r	10m-40m
پنجره کم نور	L_w	1m-5m
منطقه BS	d_a	2m-100m
زاویه BS	θ	$-90^\circ - 90^\circ$

در این مقاله، ما احتمال خط دید را برای یک محیط خاص از فضای باز به داخل مطالعه می‌کنیم که در آن یک پهباد واقع در خارج از ساختمان در حال تلاش برای ایجاد یک پیوند خط دید با کاربر واقع در داخل ساختمان از طریق پنجره‌ای با ابعاد خاص است. حتی اگر این تنظیم در نگاه اول ساده به نظر برسد، باید توجه داشت که یک ساختار متعارف است که می‌تواند به راحتی گسترش یابد تا چندین پنجره در یک طبقه معین از یک ساختمان و همچنین سناریوهای چند طبقه را شامل شود. با استفاده از ایده منطقه فرنل، ابتدا شرط وجود خط دید را در این تنظیمات ایجاد می‌کنیم، با استفاده از آن، با فرض توزیع یکنواخت کاربر در اتاق، احتمال خط دید را استخراج می‌کنیم. به منظور مفید ساختن این مدل برای تحلیل‌های بیشتر در سطح سیستم، هدف اصلی ما استخراج عبارات به شکل بسته است، حتی اگر نیاز به تقریب‌های دقیق در طول مسیر داشته باشیم.

۲- مدل سیستم و فرمول بندی مسئله

در این بخش ابتدا مدل سیستم را معرفی می‌کنیم و سپس با استفاده از مدل پراش لبه چاقو (KED) اعتبار استفاده از درصد نفوذ مانع در اولین منطقه فرنل را به عنوان یک شرط خط دید برای پیوند بیرون به داخل خانه نشان می‌دهیم. نشان داده شده است که انتقال خط دید به موقعیت نسبی ایستگاه پایه در خارج از ساختمان بستگی دارد. ما همچنین احتمال خط دید را به عنوان تابعی از پارامترهای مدل استخراج می‌کنیم.

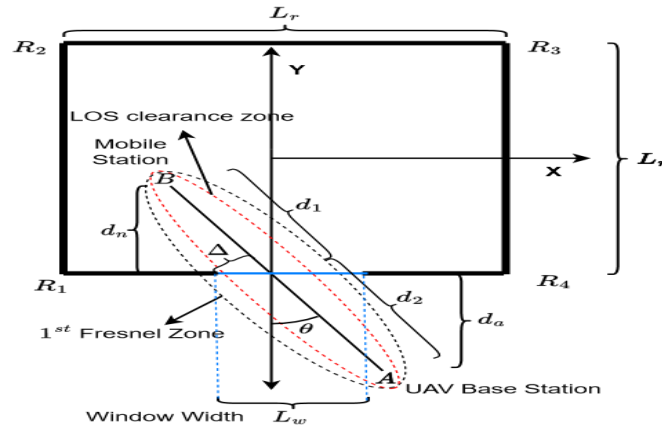
¹ Knife edge diffraction

² Fresnel

۱-۲- مدل سیستم

ما بر اساس ورودی های اضطراری فرض می کنیم در داخل ساختمان، پهپاد ایستگاه پایه نصب شده را می توان تا یک طبقه مشخص مانور داد. سپس سطح مقطع یک اتاق بزرگ را مانند شکل ۳ در نظر می گیریم که ایستگاه پایه در نقطه A خارج از اتاق و ایستگاه سیاره در جایی قرار دارد.

داخل اتاق مربع $R_1R_2R_3R_4$ نشان دهنده اتاقی با ابعاد کف $L_r \times L_r$ با دیوارهای بیرونی ساخته شده از بتن است. یک پنجره استاندارد شیشه ای غیر فلزی با عرض L_w در مرکز یکی از دیوارهای اتاق وجود دارد. با توجه به تضعیف بالایی که توسط بتن ارائه می شود، فرض می شود که مسدود کننده باشد. از سوی دیگر، پنجره های شیشه ای غیر فلزی که تضعیف کمتری را ارائه می دهند، نسبت به انتشار سیگنال رادیویی شفاف در نظر گرفته می شوند. مکان ایستگاه پایه با فاصله d_a از اتاق، در زاویه θ از حالت عادی تا پنجره واقع در مرکز پنجره تعریف می شود.



شکل ۳- نمای بالا برای سناریوی شبکه اضطراری فضای باز به داخل پهپاد ایستگاه پایه در نقطه A، ایستگاه سیاره در نقطه B در داخل ساختمان که با $R_1R_2R_3R_4$ نشان داده شده است.

برای یک موقعیت ایستگاه پایه ثابت، پنجره و هندسه اتاق، ایستگاه سیاره می تواند به طور یکنواخت در هر نقطه داخل اتاق قرار گیرد. درصدی از مکان های ایستگاه سیاره بسته به اینکه شرایط خط دید را برآورده کنند، خط دید خواهند بود، در حالی که سایر مکان ها^۱ NLoS خواهند بود.

۲-۲- پراش لبه چاقو (KED)

برای این سناریو، ما از مدل KED برای تأیید عددی شرط احتمال خط دید استفاده می کنیم که نسبت نفوذ مانع به اولین منطقه فرنل، انتقال از خط دید به نبود خط دید را کنترل می کند. هنگامی که انسداد به خط نوری متصل به فرستنده و گیرنده نزدیک می شود یا حتی از آن عبور می کند، مدل KED می تواند تلفات پراش در گیرنده را به دلیل پراش در اطراف مانع تقریبی کند [۱۵]. در شکل ۳ لبه پنجره در فاصله Δ قرار دارد و مانعی برای انتشار سیگنال از فرستنده در نقطه A به گیرنده در نقطه B است. معادله حاکم بر تلفات پراش در نقطه B به دلیل انسداد در فاصله Δ از مستقیم مسیر اتصال به فرستنده و گیرنده توسط

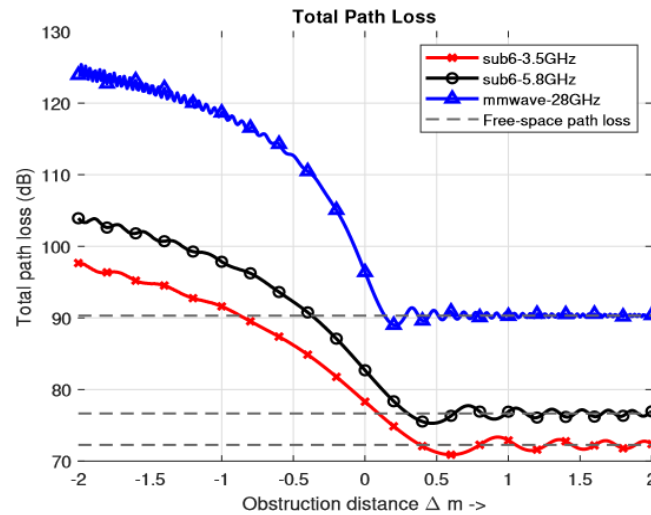
$$PL_{diff} = -20 \log \left(\frac{\sqrt{(1 - C(v) - S(v))^2 + (C(v) - S(v))^2}}{2} \right)$$

در اینجا $C(v)$ و $S(v)$ بخشهای واقعی و خیالی انتگرال $F_c(v) = \int_0^v e^{j \frac{\pi s^2}{2}} ds$ پیچیده فرنل هستند. علاوه بر این، v یک پارامتر بدون بعد است و با فرمول (۱) که به عنوان تابعی از فواصل d_1 ، d_2 در شکل ۳ بیان می شود، داده می شود.

$$v = \Delta \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)} \quad (1)$$

¹ No line of sight

توجه داشته باشید که Δ از خط مستقیم اتصال فرستنده و گیرنده همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است اندازه گیری می شود. اگر انسداد مسیر مستقیم را مسدود نکند مثبت است و اگر مانع شود منفی است. در مورد ما، برای یک مکان ثابت ایستگاه پایه و برای مکان های مختلف ایستگاه سیار در داخل اتاق، فاصله انسداد Δ تغییر می کند و این روی از دست دادن مسیر تجربه شده در ایستگاه سیار تأثیر می گذارد. به عنوان مثال، برای هندسه در شکل ۳، فواصل d_1 و d_2 را ثابت کنید. در حال حاضر، برای مکان های مختلف ایستگاه سیار و ایستگاه پایه محدود شده است.



شکل ۴- از دست دادن مسیر به عنوان تابعی از فاصله نفوذ یک مانع به منطقه اول فرنل برای فرکانس های شبکه (mmwave_sub-6 GHz) 5G برای $d_2 = 20m, d_1 = 8m$

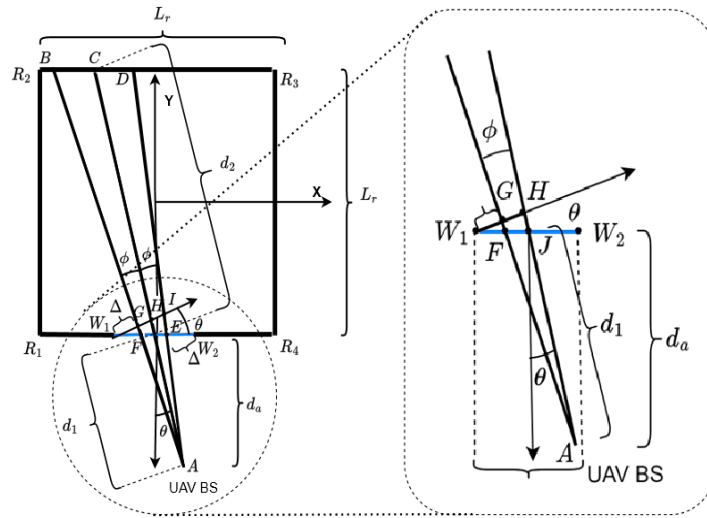
توسط d_1 و d_2 ، لبه های پنجره موانعی را برای انتشار سیگنال بین ایستگاه سیار و ایستگاه پایه با نفوذ به اولین منطقه فرنل تشکیل می دهند. اولین شعاع فرنل در نقطه ای که پنجره ها به عنوان مانع عمل می کنند توسط $r_d = \lambda \sqrt{\frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$ داده می شود. در شکل ۴، با تنظیم $d_2 = 20m$ و $d_1 = 8m$ ، افت کل مسیر را رسم می کنیم که مجموع تلفات مسیر فضای آزاد و تلفات مسیر پراش است. این از دست دادن مسیر تابعی از فاصله نفوذ Δ برای باندهای sub-6 GHz 5G و mmwave 5G است. از شکل ۴ مشخص است، منطقه انتقال از خط دید به نبود خط دید باید بر اساس نسبت نفوذ مانع به اولین منطقه، منطقه فرنل باشد و به صورت عددی نسبت $r_d \approx 0.6/\Delta$ را تعیین می کنیم که ۶۰٪ انسداد منطقه فرنل اول است. منطقه این شرایط خط دید را می توان در شکل ۳ به عنوان ناحیه بیضی شکل قرمز که در داخل اولین منطقه فرنل قرار دارد، مشاهده کرد و منطقه خلاصی LoS نامیده می شود. این ناحیه باید از موانع لبه های پنجره برای انتقال LoS دور نگه داشته شود. بنابراین برای انتقال LoS، $\Delta \geq 0.6$ و برای تجزیه و تحلیل بیشتر استفاده خواهد شد.

۳- از دست دادن احتمال

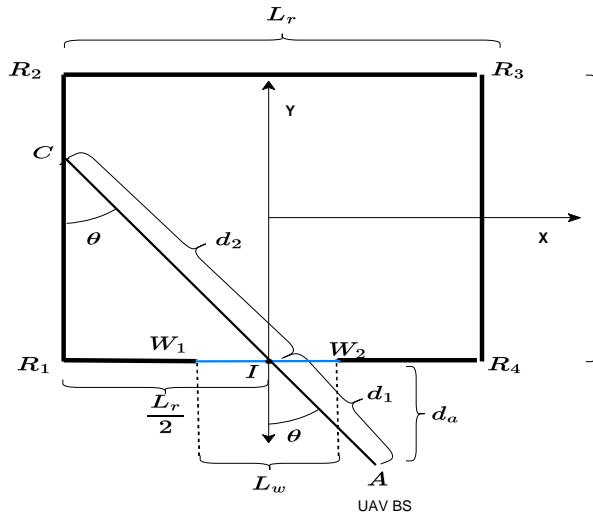
در این بخش، احتمال خط دید را با استفاده از شرط LoS بر اساس نسبت نفوذ مانع به اولین منطقه فرنل تعریف می کنیم. با انگیزه جمع آوری بینش در مورد تغییرات احتمال خط دید در مکان ایستگاه پایه، اندازه ساختمان و همچنین ابعاد پنجره، ما احتمال خط دید را به عنوان یک عبارت بسته از نظر پارامترهای مدل خود تقریب می کنیم.

BS در یک نقطه F با پارامتر فاصله da و زاویه θ ثابت می شود، همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است. فرض کنید B و D سمت چپ ترین و راست ترین نقاط واقع در دیوار پشتی باشند که احتمال خط دید از ایستگاه پایه هستند. هر دو نقطه B و D با زاویه φ در طرف مقابل خط AC جبران می شوند. توجه داشته باشید که زاویه فروکش شده توسط خط BD در نقطه A 2φ است و از آنجایی که ابعاد پنجره Lw بسیار کوچکتر از فاصله BS و فاصله MS است، بنابراین φ زاویه بسیار کوچکی است.

نقاط داخل منطقه تعریف شده توسط FBDE چهار ضلعی LoS هستند و این ناحیه منطقه LoS نامیده می شود. از این رو، احتمال خط دید توسط پارامتر تعیین می شود.



شکل ۵- منطقه LoS FBDE هنگامی که دیواره پشتی توسط پهپاد-BS در نقطه A روشن می شود



شکل ۶- هندسه برای سناریوی که دیوار جانبی توسط پهپاد-BS در نقطه A روشن می شود

موقعیت (θ, d_a) BS ابعاد اتاق L_r و ابعاد پنجره L_w به وسیله:

$$P_{los}(\theta, d_a, L_r, L_w) = \frac{\text{area}(\square FBDE)}{\text{area}(\text{room})} = \frac{\text{area}(\square FBDE)}{L_r^2} \quad (2)$$

برای به دست آوردن نتیجه شبیه سازی برای احتمال خط دید، یک شبکه یکنواخت $N \times N$ از مکان های احتمالی ایستگاه سیار در داخل اتاق قرار می دهیم. احتمال LoS را می توان به دست آورد که در آن تعداد مکان های شبکه در منطقه احتمال خط دید FBDE برای یک مکان ایستگاه پایه ثابت است. برای به دست آوردن یک عبارت بسته برای تجزیه و تحلیل احتمال خط دید، در شکل ۵، ما مساحت FBDE را با در نظر گرفتن بخش های خط BD و FE به ترتیب به عنوان کمان های شعاع d_1 و $d_1 + d_2$ تقریب می زنیم.

$$\text{area}(\square FBDE) \approx (d_1 + d_2)^2 \phi - d_1^2 \phi \quad (3)$$

با اشاره به قسمت بزرگنمایی شده در شکل ۵، تقریب قوس برای بدست آوردن ϕ از نظر پارامترهای مدل با آخرین مرحله به دست آمده با جایگزینی شرط خط دید استفاده می شود.

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{GH}{AH} \\ &\approx \frac{\frac{L_w \cos \theta}{2} - \Delta}{d_1} \\ &= \frac{L_w \cos^2 \theta - 1.2r_d \cos \theta}{2d_a} \end{aligned} \quad (4)$$

دو مورد برای d_2 بسته به ابعاد اتاق وجود دارد. شرط قرار گرفتن نقطه B روی دیوار پشتی $\theta \in (-\theta_0, \theta_0)$ است که در آن $\theta = 0$ درجه است زیرا اتاق ما مربع است. دریافت d_2 بر حسب فاصله BS da و θ در آن مورد ساده است. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، هنگامی که نقطه C بر روی دیوار جانبی قرار دارد، از هندسه CR114 برای بدست آوردن فرمول d_2 استفاده می کنیم.

$$d_2 = \begin{cases} \frac{L_r}{\cos \theta}, & \theta \in (-\theta_0^\circ, \theta_0^\circ) \\ \left| \frac{L_r}{2 \sin \theta} \right|, & \theta \in (-90^\circ, -\theta_0^\circ) \cup (\theta_0^\circ, 90^\circ) \end{cases} \quad (5)$$

توجه داشته باشید که با استفاده از فرمول $d_1 = \frac{d_a}{\cos \theta}$ ، عبارت بسته برای احتمال خط دید با جایگزینی (۴)، (۵) در (۳) و در نهایت در (۲) به دست می آید. در اینجا rd شعاع فرنل در فاصله d_1, d_2 است.

$$P_{los}(\theta, d_a, L_r, L_w) = \begin{cases} \left(\frac{L_w \cos^2 \theta - 1.2r_d \cos \theta}{2L_r^2 d_a} \right) \left(\frac{2L_r d_a + L_r^2}{\cos^2 \theta} \right), & \theta \in (-\theta_0^\circ, \theta_0^\circ) \\ \left(\frac{L_w \cos^2 \theta - 1.2r_d \cos \theta}{2L_r^2 d_a} \right) \left(\frac{2d_a}{\cos \theta} + \left| \frac{L_r}{2 \sin \theta} \right| \right) \left| \frac{L_r}{2 \sin \theta} \right|, & \theta \in (-90^\circ, -\theta_0^\circ) \cup (\theta_0^\circ, 90^\circ) \end{cases} \quad (6)$$

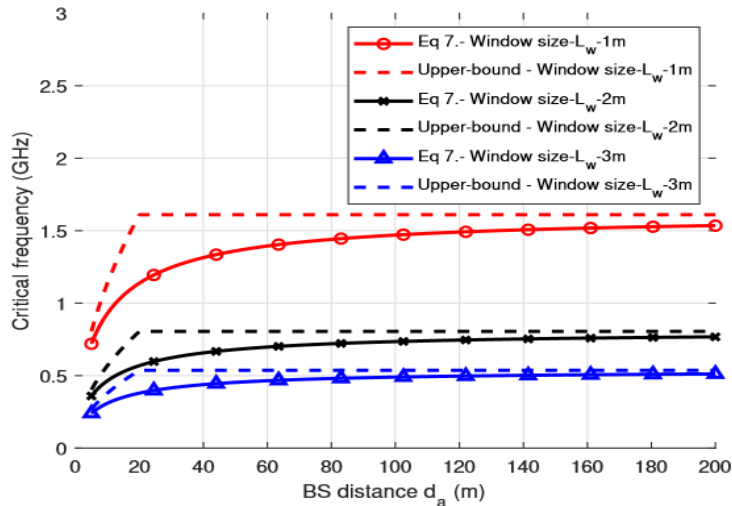
۴- نتایج از دست دادن احتمال

در این بخش، ما به طور سیستماتیک تغییرات را تجزیه و تحلیل می کنیم احتمال خط دید با پارامترهای سیستم به طور مشخص، ما برای هر دو باند 5G-sub6 و همچنین باند 5G-mmWave نتیجه گیری می کنیم. در فرکانس های 5G-mmWave، ما آن را نشان می دهیم تغییر فرکانس ناچیز می شود.

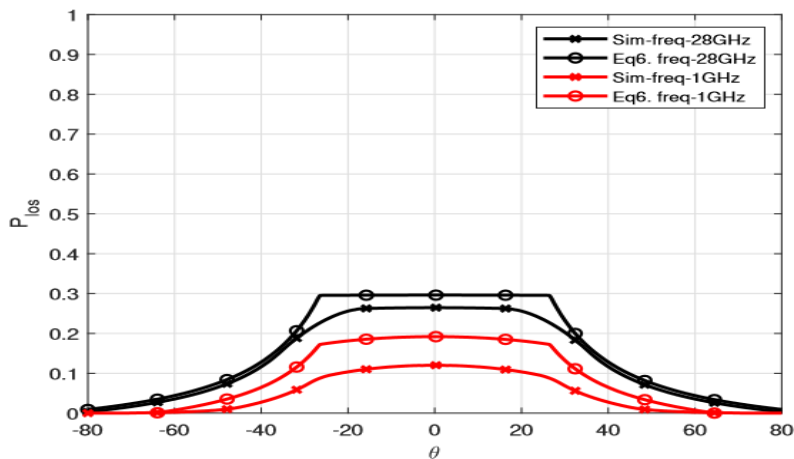
۴-۱- فرکانس بحرانی

در (۴) جایگزینی $\theta = 0$ درجه، مشاهده می کنیم که ϕ به فرکانس وابسته است و برای فرکانس خاصی که به عنوان فرکانس بحرانی تعریف شده است، صفر می شود. در بررسی (۶)، برای $\theta = 0$ درجه و فرکانس عملیات در/یا کمتر از $f =$ فرکانس بحرانی، مشاهده می کنیم که احتمال خط دید صفر است. می توانیم یک عبارت برای فرکانس بحرانی با معادل کردن (۴) با صفر به دست آوریم تا (۷) به دست آوریم. فرکانس بحرانی به فاصله BS، ابعاد اتاق و نسبت معکوس با اندازه پنجره بستگی دارد. عبارت ریشه دوم در عبارت فرکانس بحرانی دارای فاصله BS da و بعد اتاق L_r است. این عبارت ریشه دوم را می توان با جذر دوم ابعاد کوچکتر آن دو محدود کرد. از نمودار در شکل ۷، برای پارامترهای مدل معمولی در جدول I نتیجه می گیریم، همه باندهای 5G-sub6 و 5G-mmWave بالای فرکانس بحرانی قرار دارند، و از این رو تجزیه و تحلیل بیشتر به این رژیم عملیاتی محدود می شود.

$$f = \frac{1.2c}{L_w} \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{d_a} + \frac{1}{L_r}}} < \frac{1.2c}{L_w} \sqrt{\min(d_a, L_r)} \quad (7)$$



شکل ۷- برای فرکانس های در نظر گرفته شده، یعنی در باندهای 5G-sub6 و باندهای 5G-mmWave رژیم عملکرد بالاتر از فرکانس بحرانی است. در نمودار، بیان فرم بسته فرکانس بحرانی را در مقابل کران بالای آن برای اندازه اتاق $L_r = 20$ متر و اندازه پنجره $L_w = 1$ متر، ۲ متر، ۳ متر مقایسه می کنیم



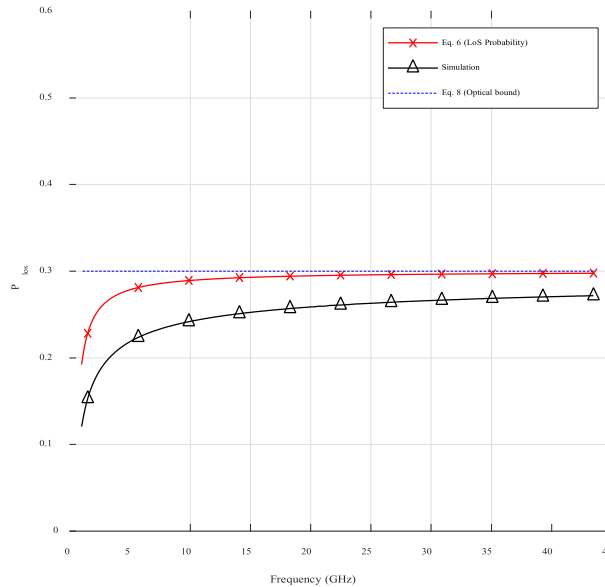
شکل ۸- شبیه سازی و بیان فرم بسته (۶) در مقابل زاویه BS به پنجره θ برای باند 5G-sub6 $f = 1GHz$ و باند 5G-mmWave $f = 28GHz$ برای فاصله $d_a = 5m$ BS، ابعاد اتاق $L_r = 20m$ ، ابعاد پنجره $L_w = 2$ متر

۴-۲- احتمال خط دید در مقابل فرکانس

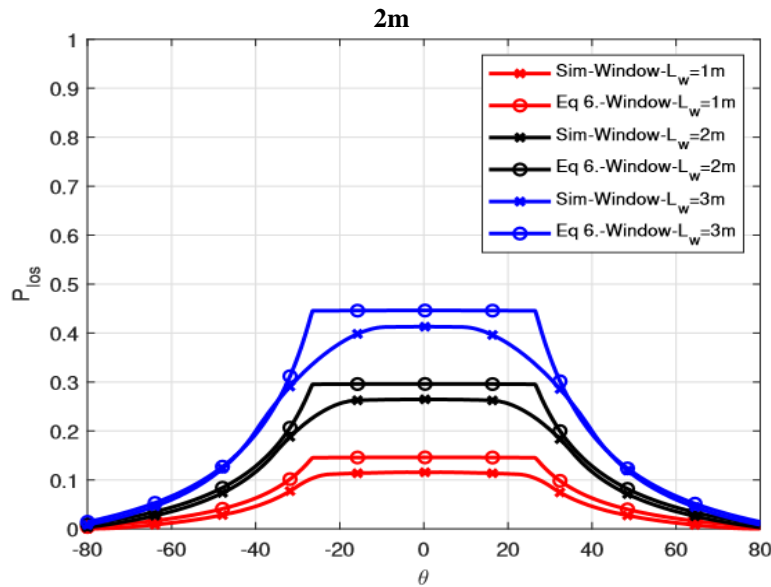
با افزایش فرکانس عملیات، اولین شعاع ناحیه فرنل کاهش می یابد که منجر به افزایش زاویه ϕ می شود. از این رو، همانطور که از فرکانس های 5G-sub6 به فرکانس های 5G-mmWave حرکت می کنیم، انتظار داریم که احتمال خط دید افزایش یابد، همانطور که در شکل ۸ مشاهده شد. بنابراین برای به حداکثر رساندن احتمال خط دید مطلوب است.

برای استفاده از باندهای 5G-mmWave روی باندهای 5G-sub6. به طور خاص برای فرکانس های 5G-mmWave (24GHz- 43.5GHz)، ما توجه می کنیم که اولین شعاع ناحیه فرنل را می توان بسیار کوچکتر از ابعاد پنجره L_w فرض کرد. این مربوط به فرض فرکانس نامحدود عملکرد است و در این مورد، انتقال LoS به NLoS زمانی اتفاق می افتد که موانع انتشار سیگنال فقط مسیر مستقیم اتصال به ایستگاه سیار و ایستگاه پایه را لمس کنند. این معادل حذف عبارت شعاع فرنل در (۶) است و با جایگزینی $\theta = 0$ ، یک تقریب "نوری" مستقل از فرکانس برای احتمال خط دید بدست می آوریم. توجه داشته باشید که در شکل ۹، برای باندهای 5G-mmWave، حد نوری و شکل بسته عبارت احتمال خط دید همگرا می شود و شبیه سازی مطابقت بسیار نزدیکی دارد:

$$P_{los} \approx L_w \left(\frac{1}{L_r} + \frac{1}{2d_a} \right) \quad (8)$$



شکل ۹- وابستگی فرکانس احتمال LoS (۶)، کران نوری (۸)، و شبیه سازی برای فاصله $BS da = 5$ متر، ابعاد اتاق $Lr = 20$ متر، ابعاد پنجره $Lw =$



شکل ۱۰- احتمال LoS مستقیماً با اندازه پنجره Lw برای باندهای $5GmmWave$ متناسب است. $f = 28GHz$ ، فاصله $BS da = 5m$ ، ابعاد اتاق

$Lr = 20m$ ، ابعاد پنجره $Lw = 1m, 2m, 3m$

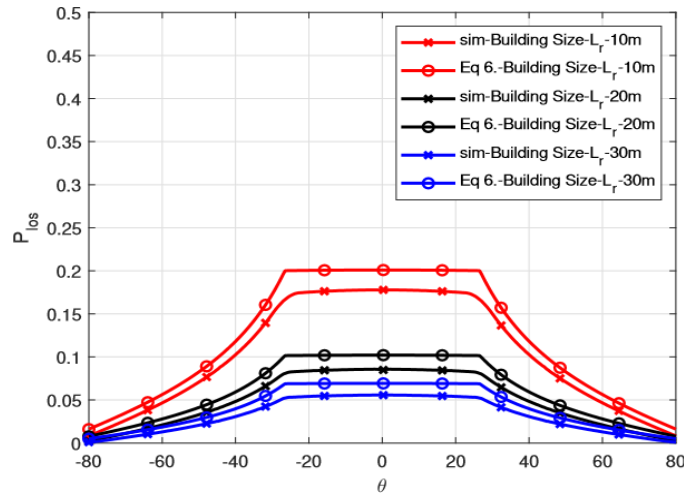
۳-۴- احتمال خط دید در مقابل اندازه پنجره

از (۶) با افزایش اندازه پنجره، φ افزایش می یابد، بنابراین انتظار می رود احتمال LoS برای هر دو باند $5G-sub6$ و $5G$ افزایش $5mmWave$ یابد. برای دومی می توانیم شعاع فرنل را نادیده بگیریم که منجر به یک عبارت ساده شده برای احتمال خط دید در (۸) می شود. از اینجا نتیجه می گیریم که P_{los} با بعد پنجره Lw نسبت مستقیم دارد.

۴-۴- احتمال خط دید در مقابل بعد از اتاق و فاصله ایستگاه پایه

همانطور که BS از اتاق دور می شود، یعنی da افزایش می یابد، مشاهده کنید که φ کاهش می یابد، بنابراین احتمال خط دید در ابتدا کاهش می یابد. اکنون برای فرکانس های بالا می توان شعاع فرنل را در مقایسه با بعد پنجره نادیده گرفت، توجه داشته باشید که در شکل ۳ برای $\theta = 0$ درجه، فراتر از فاصله ایستگاه پایه معین، بخش های خط FB و ED کوچک تر از da می شوند. از نظر هندسی، برای دای به اندازه کافی بزرگ، آنها با یکدیگر موازی می شوند. در این مرحله نباید کاهش بیشتری در ناحیه منطقه LoS وجود داشته باشد و احتمال خط دید بیشتر کاهش نخواهد یافت. به طور معادل، در (۸) as قابل چشم پوشی می شود و می توان آن را

نادیده گرفت. در (۸)، می توانیم استدلال‌های مشابهی در رابطه با بعد اتاق Lr داشته باشیم و احتمال خط دید اساساً تحت سلطه بعد کوچکت‌ر بین فاصله BS da و بعد اتاق Lr است.



شکل ۱۱- احتمال LoS با اندازه اتاق برای باندهای 5GmmWave نسبت معکوس دارد. f = 28 گیگاهرتز برای فاصله BS da = 5 متر، ابعاد پنجره Lw = 2 متر، ابعاد اتاق Lr = 10 متر، ۲۰ متر، ۳۰ متر

۴-۵- احتمال پوشش

در این بخش، کیفیت پیوند بی سیم را از یک پهنای باند ایستگاه پایه به یک ایستگاه سیار داخلی برای ۲۸ گیگاهرتز برای سناریوی خود از نظر احتمال پوشش ارزیابی می کنیم. بیان احتمال پوشش تابعی از احتمال خط دید نشان داده شده است. همانطور که سیگنال بی سیم از BS به MS منتشر می شود، هم محو شدن و هم از دست دادن مسیر را تجربه می کند. برای یک مکان ثابت ایستگاه پایه، مکان ایستگاه سیار تصمیم می گیرد که آیا پیوند بی سیم LoS و NLoS باشد. از این رو، ما باید هم محو شدن و هم از دست دادن مسیر را برای سناریوهای LoS و NLoS مدل کنیم. برای مدل سازی محو شدن، از مدل محو شدن Nakagami-m با استفاده مناسب از پارامتر m استفاده می کنیم. بهره توان کانال γ در صورت انتشار احتمال خط دید با توزیع گاما با $m \approx 10$ است، در حالی که در مورد انتشار نبود خط دید توزیع ریلی است.

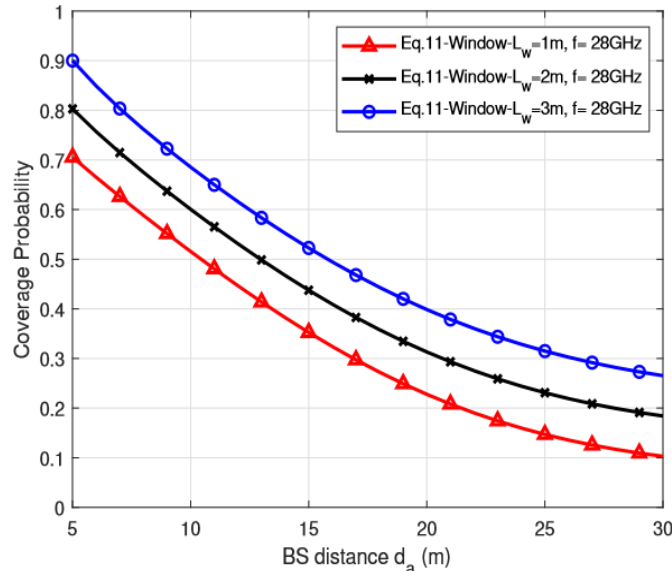
(با $m \approx 1$ توجه داشته باشید که $m = 10$ مربوط به فاکتور K Ricean 13 دسی بل است. بر اساس کمپین های اندازه گیری برای ۲۸ گیگاهرتز در توان از دست دادن مسیر ۱.۲ برای خط دید و ۲.۹ برای سناریوهای نبود خط دید است. [۱۶]، میانگین نسبت سیگنال به نویز γ را می توان با مدل سازی کرد:

$$\gamma = \frac{\lambda^2 P_t}{16\pi^2 d^n} \frac{1}{KTB} \quad (9)$$

در اینجا n توان از دست دادن مسیر، λ طول موج و P_t توان ارسال، KTB کف نویز حرارتی گیرنده و d فاصله بین فرستنده و گیرنده است. برای یک BS در $\theta = 0$ درجه، همه مکان‌های ایستگاه سیار در فاصله $da + dn$ از ایستگاه پایه را می توان به گونه‌ای تقریبی کرد که روی یک بخش خطی با ابعاد Lr برابر با عرض اتاق قرار بگیرند. از آنجایی که فاصله بین ایستگاه سیار و ایستگاه پایه از قبل مشخص است، احتمال پوشش به صورت درصدی از مکان‌های ایستگاه سیار که در قسمت خط با SNR بالاتر از آستانه از پیش تعیین شده γ_T قرار دارند، تعریف می شود.

برای بدست آوردن احتمال خط دید برای یک مکان ثابت ایستگاه پایه و مکان ایستگاه سیار، مشاهده می کنیم که مکان های خط دید ایستگاه سیار در یک مکان قرار دارند. فاصله $da + dn$ از ایستگاه پایه زاویه φ_2 را در ایستگاه پایه کاهش می دهد. با استفاده از تقریب قوس کوچک، احتمال خط دید برای $\theta = 0$ درجه را می توان به صورت نوشتاری نوشت:

$$P_{los} = \frac{(d_a + d_n)(L_w - 1.2r_d)}{d_n d_a} \quad (10)$$



شکل ۱۲- احتمال پوشش به عنوان تابعی از فاصله BS برای اندازه های مختلف پنجره. فرکانس $f = 28$ گیگاهرتز، ابعاد اتاق $Lr = 20$ متر و فاصله $MS dn = 20$ متر، آستانه $\gamma t = 5$ SNR دسی بل برای توان انتقال $P_t = 30dBm$ ، کف نویز $-100dBm$

این را می توان به عنوان درصد مکان های احتمال خط دید ایستگاه سیار که در قسمت خط در فاصله $da + dn$ که در منطقه خط دید قرار دارند، تجسم کرد. بنابراین احتمال پوشش بستگی به احتمال LOS و پارامترهای محو شدن دارد و می تواند به صورت بیان شود.

$$\begin{aligned}
 P_{cov} &= \mathbb{P}(\gamma_{los} > \gamma_T, LoS) + \mathbb{P}(\gamma_{nlos} > \gamma_T, NLoS) \\
 &= \mathbb{P}_{los}(\gamma_{los} > \gamma_T)P_{los} + \mathbb{P}_{nlos}(\gamma_{nlos} > \gamma_T)(1 - P_{los}) \\
 &= \left(1 - \frac{\tilde{\gamma}(m_{los}, m_{los} \frac{\gamma_T}{\gamma_{los}})}{\Gamma(m_{los})}\right) P_{los} \\
 &\quad + \left(1 - \frac{\tilde{\gamma}(m_{nlos}, m_{nlos} \frac{\gamma_T}{\gamma_{nlos}})}{\Gamma(m_{nlos})}\right) P_{nlos}.
 \end{aligned} \tag{11}$$

در اینجا P_{los} cdf Plos قدرت محو شدن برای خط دید و P_{nlos} cdf Pnlos قدرت محو برای شرایط نبود خط دید است. γ_{los} و γ_{nlos} توسط SNR (۹) با توان از دست دادن مسیر مناسب به دست می آیند. توان انتقال $P_t = 30 dBm$ ، کف نویز $-100 dBm$ برای سیگنالی با پهنای باند ۲۰ مگاهرتز، $\gamma_T = -5$ دسی بل.

۵- نتیجه گیری

کمپین های اندازه گیری انتشار اخیر نشان داده اند که نسبت اندازه پنجره به سطح کلی ساختمان، بر کیفیت پیوند یک پیوند بی سیم در یک سناریوی انتشار در فضای باز-داخلی تأثیر می گذارد. در این مقاله، ما از این واقعیت برای تجزیه و تحلیل کیفیت پیوند ارتباطی در یک شبکه اضطراری به کمک پهپاد استفاده کردیم. ما مدلی را پیشنهاد کردیم که موقعیت نسبی پهپاد-ایستگاه پایه در خارج از ساختمان، اندازه پنجره، اندازه ساختمان و فرکانس انتقال پیوند را نشان می دهد. این مدل اولیه بر روی یک اتاق تک تمرکز دارد، اما به راحتی می توان آن را به اتاق های متعدد گسترش داد. بر اساس مدل و با استفاده از تقریب های دقیق، ما یک عبارت بسته برای احتمال خط دید پیوند بین پهپاد-ایستگاه سیار و ایستگاه پایه در داخل ساختمان استخراج کردیم. با تجزیه و تحلیل وابستگی فرکانس احتمال خط دید مشاهده کردیم که باندهای 5G-mmWave در مقایسه با باندهای G-sub65، احتمال خط دید به طور قابل توجهی بالاتری ارائه می دهند. همچنین، برای باندهای 5G-mmWave، احتمال خط دید با اندازه پنجره نسبت مستقیم دارد و با کوچکتر فاصله ایستگاه پایه تا ساختمان و اندازه ساختمان نسبت معکوس دارد. کیفیت پیوند بی سیم BS-to-MS از منظر احتمال پوشش که تابعی از احتمال خط دید است، تحلیل می شود. وابستگی احتمال پوشش به محل ایستگاه پایه اندازه پنجره و

اندازه ساختمان نیز با فاصله کوتاه ایستگاه پایه تا ساختمان و پنجره های بزرگ برای پوشش بهتر مطلوب نشان داده شده است. این نتایج را می توان برای تعیین موقعیت بهینه پهپاد-ایستگاه پایه و تعداد پهپادهای مورد نیاز برای دستیابی به قابلیت اطمینان و عملکرد مطلوب مورد استفاده قرار داد.

۶- مراجع

1. A. Merwaday, A. Tuncer, A. Kumbhar, and I. Guvenc, "Improved throughput coverage in natural disasters: Unmanned aerial base stations for public-safety communications," IEEE Veh. Technology Magazine, Nov. 2016.
2. A. Merwaday and I. Guvenc, "UAV assisted heterogeneous networks for public safety communications," in Proc., IEEE WCNC Workshops, Mar. 2015.
۳. علیرضا قضاوی، فروغ السادات طباطبا "پهپادها و کاربرد آنها در امنیت عمومی و پلیس هوشمند"، نشریه فناوری اطلاعات و انتظامی (فاوا) ۱۳۹۹، ۱، ۸۹-۶۷
4. Merwaday, A., Tuncer, A., Kumbhar, A. and Guvenc, I., "Improved Throughput Coverage in Natural Disasters: Unmanned Aerial Base Stations for Public-Safety Communications," in IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 11, no. 4, pp. 53-60, Dec. 2016.
5. K. Saito, Q. Fan, N. Keerativoranan, and J.-i. Takada, "4.9 GHz band outdoor to indoor propagation loss analysis in high building environment using unmanned aerial vehicle," in Proc., European Conf. on Antennas and Propagation. IEEE, 2019.
6. F. Fuschini, M. Barbiroli, E. Vitucci, and V. Degli-Esposti, "Multi-band outdoor-to-indoor propagation measurements using a drone," in Proc., European Conf. on Antennas and Propagation. IEEE, Mar. 2022.
7. W. Khawaja, I. Guvenc, D. W. Matolak, U.-C. Fiebig, and N. Schneckenburger, "A survey of air-to-ground propagation channel modeling for unmanned aerial vehicles," IEEE Comm. Surveys & Tutorials, May 2019.
8. "Technical Specification Group Radio Access Network; Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz, 3GPP TR 38.901," Mar. 2022.
9. Q. Feng, E. K. Tameh, A. R. Nix, and J. McGeehan, "WLCp2- 06: Modelling the likelihood of line-of-sight for air-to-ground radio propagation in urban environments," in IEEE Globecom, 2006.
10. X. Liu, J. Xu, and H. Tang, "Analysis of frequency-dependent line-of-sight probability in 3-D environment," IEEE Commun. Letters, June 2018.
11. Y. Hmamouche, M. Benjillali, and S. Saoudi, "Fresnel line-of-sight probability with applications in airborne
12. J. Jarvel " ainen, S. L. Nguyen, K. Haneda, R. Naderpour, and U. T. Virk, " "Evaluation of millimeter-wave line-of-sight probability with point cloud data," IEEE Wireless Commun. Letters, Jan. 2016.
13. J. Jarvel " ainen, M. Kurkela, A. Karttunen, K. Haneda, and J. Putkonen, " "70 GHz radio wave propagation prediction in a large office," in Proc., Loughborough Antennas and Propagation Conf., Nov. 2014.
14. C. Ulloa, J. Luque, M. Clemente-Arenas, and S. Inca, "Millimeter-wave line-of-sight probability modeling for inside metro carriages scenarios," in Proc. IEEE INTERCON, Oct. 2020.
15. T. S. Rappaport et al., Wireless Communications: Principles and Practice. Prentice Hall, New Jersey, 1996, vol. 2.
16. S. Sun, G. R. MacCartney, and T. S. Rappaport, "Millimeter-wave distance-dependent large-scale propagation measurements and path loss models for outdoor and indoor 5g systems," in Proc., European Conference on Antennas and Propagation, Jun. 2016.