



تقييم أداء الوصلة (A2G) في نظام اتصال بالطيران المسير قائم على تقنية النفاذ المتعدد غير المتعامد

عبدالله أبوبكر أبو عربية

قسم الهندسة الكهربائية والالكترونية، كلية الهندسة – جامعة مصراتة، ليبيا

a.abuarabia@eng.misuratau.edu.ly

الملخص

تهدف نظم الاتصالات اللاسلكية بمختلف تقنياتها إلى توفير خدمات الاتصال لأكثر عدد من المشتركين المنتشرين على مساحات شاسعة بأفضل جودة وأقل تكلفة. تعتبر نظم الاتصال بالطيران المسير والتي تعرف أيضاً بنظم المنصات الجوية المسيرة، من التقنيات الحديثة التي تستخدم في توفير خدمات الاتصال لاسلكياً لكل من المستخدمين المتقلين والثابتين بحيث يمكن تفعيل هذه الخدمات بكفاءة عالية عن طريق التكامل بين شبكات هجينة أرضية ونظم اتصالات جوية أخرى كنظم المنصات عالية الارتفاع وشبكات الأقمار الصناعية. تهتم هذه الورقة بدراسة استخدام مركبة جوية من دون طيار (UAV) في توفير خدمة الاتصال اللاسلكي لإثنين من المستخدمين الأرضيين يتشاركان موارد النظام من خلال النفاذ المتعدد غير المتعامد (NOMA) مع مقارنة الأداء عند استخدام النفاذ المتعامد (OMA) كتقنية وصول متعدد، حيث سيتم تقييم أداء الوصلة (جو - أرض) اللاسلكية باستخدام معياري الكفاءة الطيفية واحتمالية الانقطاع من خلال المحاكاة في ظروف تشغيل مختلفة. أظهرت نتائج المحاكاة وجود ارتفاع أمثل لتحويل المركبة الجوية بدون طيار بحيث يتم إنجاز أفضل أداء عند كل مستخدم، كما وجد أن فجوة الأداء تتسع بين نظامي (NOMA) و (OMA) عند الارتفاع الأمثل للتحويل. علاوة على ذلك، توضح النتائج المحصل عليها تفوق أداء نفاذ (NOMA) على (OMA) خصوصاً مع زيادة قدرة الإرسال.

الكلمات المفتاحية:
طائرة مسيرة، نفاذ متعدد غير متعامد، وصلة (جو - أرض)، كفاءة طيفية، احتمالية قطع.

1. المقدمة

تعتمد نظم اتصالات الطيران المسير على استخدام مركبة جوية بدون طيار (Unmanned Aerial Vehicle UAV) لتزويد خدمات الاتصالات اللاسلكية في الاتجاهين الصاعد والنازل لمستخدم أو عدة مستخدمين أرضيين. يتزايد الاهتمام حالياً باستخدام الطيران المسير كنظام مستقل أو مكمل للشبكات الأرضية والأقمار الصناعية في العديد من التطبيقات المدنية والعسكرية، لتوفير خدمة الاتصال الثابت والمنتقل خصوصاً عند حدوث مشاكل للشبكات الأرضية كما في حالات الكوارث الطبيعية والحروب أو التجمعات المزدحمة في الملاعب الرياضية [1] - [7]. تستغل نظم اتصالات الطيران المسير بشكل أفضل ميزات كل من أنظمة الاتصالات الأرضية ونظم اتصالات المنصات الجوية الأكثر ارتفاعاً بطرق عديدة، فعلى سبيل المثال:

- فرص كبيرة للاتصال المباشر عبر خط الرؤية مقارنة بالمحطات القاعدية الأرضية.
- تأخيرات زمنية أقل وتخميد انتشار منخفض مقارنة بنظم اتصالات الأقمار الصناعية.
- القدرة على البث الوحيد والبث المتعدد مع إمكانية التكامل مع نظم الاتصالات الأخرى.
- أقل بنية مقارنة بالبنية التحتية الأرضية، وأوقات الهبوط والإقلاع قصيرة لأغراض الصيانة مقارنة بالأقمار الصناعية.

بالرغم من الميزات التي توفرها نظم اتصالات الطيران المسير مقارنة بالنظم اللاسلكية الأخرى، إلا أنها تواجه بعض الصعوبات التقنية التي تحد من كفاءتها ومن أهمها:

اتصالات الطيران المسير، ومن ثم توضيح لأهم أسس النفاذ المتعدد غير المتعامد في الوصلة النازلة.

1.2. قناة الانتشار في نظم الطيران المسير

يمكن وصف حالة انتشار الإشارة عبر وصلة جو - أرض (A2G) في نظم الطيران المسير باستخدام نموذجي خبو أحدهما كبير المدى (Large-scale fading) وآخر صغير المدى (Small-scale fading). يوضح الخبو كبير المدى آلية الفقد الحاصل لقدرة الإشارة المرسلية بسبب تخميد المسار، ويستخدم لذلك عدة نماذج لعل من أهمها نموذج زاوية الارتفاع [4]، [9] الذي يعطي فقد المسار كدالة في زاوية الارتفاع وبالتالي اعتمادا على احتمالية الاتصال عبر خط الرؤية المباشر في بيئة انتشار حضرية، كالتالي:

$$PL(h, r_i)_{dB} = (103.4 + 24.2 \log_{10} \sqrt{h^2 + r_i^2}) \times P_{Los,i} + (131.4 + 42.8 \log_{10} \sqrt{h^2 + r_i^2}) \times (1 - P_{Los,i}) \quad (1)$$

حيث: h هو ارتفاع تحويم الطائرة المسيرة، r_i تشير إلى المسافة الفاصلة بين المستخدم الأرضي (i^{th}) ومركز تغطية الطائرة المسيرة، و $P_{Los,i}$ تمثل احتمالية الاتصال عبر مسار مباشر بين المستخدم الأرضي (i^{th}) والمركبة الجوية والذي يعطى وفقا للمعادلة الآتية:

$$P_{Los,i} = \frac{1}{1 + \exp(-q[\theta_i - p])} \quad (2)$$

حيث: p, q هما ثابتا نموذج زاوية الارتفاع [9]، و θ_i تمثل زاوية الارتفاع بين المستخدم الأرضي (i^{th}) والمركبة الجوية والتي يمكن حسابها كالتالي:

$$\theta_i = \arctan\left(\frac{h}{r_i}\right) \quad (3)$$

توضح المعادلة (1) أن مقدار فقد الانتشار يعتمد على ارتفاع الطائرة المسيرة عند ثبوت المسافة الأفقية التي تفصل المستخدم الأرضي عن مركز تغطية الطائرة المسيرة، وبالتالي فإنه سيكون هناك ارتفاعا محددًا يكون التخميد عنده أقل ما يمكن، وهذا ما يمكن وصفه رياضيا وفقا للآتي:

$$\frac{\partial PL_i(h, r_i)}{\partial h} = 0 \quad (4)$$

من ناحية أخرى، يتم الأخذ في الاعتبار توزيع رايليه (Rayleigh distribution) لتوصيف الخبو صغير المدى لنظم اتصالات المنصات الجوية منخفضة الارتفاع [10]، [11] نظرا لوجود احتمالية لتشتت الإشارة وبالتالي تعدد مسارات استقبالها في بيئات الانتشار غنية العوائق. الجدير بالذكر هنا أنه يمكن استخدام نماذج أخرى كتوزيع ريشن (Rician distribution) [12] أو توزيع نغامي (Nakagami distribution) [13] لنمذجة القناة متضمنة تأثير الخبو صغير المدى، بينما تستخدم نماذج معتمدة فقط على الخبو واسع النطاق كنموذج تخميد الفراغ الحر [14] أو نموذج زاوية الارتفاع [15] لتوصيف معاملات القناة في نظم اتصالات الطيران المسير.

2.2. تقنية النفاذ المتعدد غير المتعامد

تتميز نظم النفاذ المتعدد غير المتعامد (NOMA) بالاستفادة المثلى من موارد شبكة الاتصالات عبر التشارك الآني للموارد بين المستخدمين مما يتيح كفاءة طيفية مرتفعة. وعلى خلاف ذلك، تعتمد نظم النفاذ المتعدد المتعامد (OMA) والتي من أحدثها تعامد التردد (Orthogonal Frequency Division Multiplexing OFDMA) على عزل الإشارات غير المرغوب فيها عن الإشارة المطلوبة بشكل تام، ومن ثم توزيع الإشارات المختلفة للمستخدمين على الموارد المتاحة في الشبكة بصورة متعامدة مما يجعل الأداء جيدا لعدم وجود تداخل بين

- صغر منطقة التغطية مقارنة بالنظم الجوية الأخرى الأعلى ارتفاعا.
- قيود الحجم، الوزن، والقدرة (size, weight, and power) ((SWAP) [1] مما يؤثر في كفاءة المنصة المسيرة عند استخدام تقنيات الاتصالات الحديثة كنظم الهوائيات متعددة الدخل والخرج.
- مشكلة نضوب الطاقة مما يؤثر على زمن الخدمة الذي تقضيه الطائرة المسيرة في الجو.
- تتأثر موثوقية قناة الاتصال بثبات موضع الطائرة المسيرة وهذا يعتمد بشكل كبير على عوامل الطقس السائدة كسرعة الرياح وشدة المطر.

من ناحية أخرى، تعتبر الكثافة الضخمة للتوصيلات ومتطلبات الكفاءة الطيفية المرتفعة من التحديات الرئيسية في شبكات اتصالات الجيل الخامس (5G) وما بعده (B5G)، ويعد نشر النفاذ المتعدد غير المتعامد (Non-Orthogonal Multiple Access NOMA) عبر الطيران المسير من الطرق الواعدة التي اكتسبت مؤخرا اهتماما ملحوظا لغرض الاستفادة من قوة وصلات الاتصال عبر خط البصر ودعم التغطية مع زيادة إنتاجية نظم الاتصالات اللاسلكية الحديثة [1] - [4]. تهدف تقنية النفاذ المتعدد غير المتعامد (NOMA) إلى الاستغلال الأمثل لموارد شبكة الاتصالات وتحقيق معدلات ترانسل مرتفعة من خلال تشارك عدة مستخدمين للطيف الترددي مع إمكانية النفاذ الأمثل إلى القناة عن طريق تخصيص قدرات ارسال مختلفة تعتمد على ظروف القناة لكل مستخدم وهذا ما يسمى بالنفاذ المتعدد في مجال القدرة (PD-NOMA)، أو تخصيص شفرات غير متعامدة لها معامل ترابط ضعيف للمستخدمين المختلفين لتكوين ما يعرف بالنفاذ المتعدد في مجال الشفرة (CD-NOMA) بحيث يتشارك فيه جميع المستخدمين نفس موارد الشبكة من تردد وزمن.

توجد عدة أبحاث تهتم بتقييم أداء نظم اتصالات الطيران المسير عند استخدام التقسيم غير المتعامد كتقنية نفاذ متعدد. فمثلا يهتم [4] بتوسيع منطقة تغطية الطائرة المسيرة من خلال تعزيز الكفاءة الطيفية وكفاءة الطاقة كدالة في نسبة قدرة الإشارة إلى الضوضاء لسيناريوهات مختلفة تتعلق بنوع بيئة الانتشار، التردد الحامل ونصف قطر التغطية وارتفاع تحليق الطائرة المسيرة. أما [5] فيركز على تحسين أداء نظام اتصال بمسيرة من خلال مفهوم هوائيات الصفيغ لتشكيل حزم الشعاع، بينما يهدف [6] إلى تقييم أداء كفاءة الطاقة لحالة التقدير غير المثالي للقناة. أما [7] و [8] فهي مخصصة لتحسين التغطية وزيادة السعة لتطبيقات انترنت الأشياء.

تهدف هذه الورقة إلى تقديم مادة علمية مبسطة لاستخدام الطيران المسير كنظام اتصال لاسلكي من خلال تقييم أداء الوصلة النازلة والتي تعرف بوصلة جو - أرض (Air-to-Ground A2G) اعتمادا على معياري الكفاءة الطيفية واحتمالية القطع عند استخدام النفاذ غير المتعامد كتقنية وصول، كما سيتم مقارنة الأداء عند استخدام وصول النفاذ المتعدد المتعامد (Orthogonal Multiple Access OMA). يستعرض الجزء الثاني من الورقة التوصيف الرياضي لكل من آلية الانتشار عبر القناة (A2G) في نظم اتصالات الطيران المسير ومعرفة خصائص الإشارة في ترانسل (NOMA) لنمذجة الكفاءة الطيفية واحتمالية القطع، بينما سيتم في الجزء الثالث محاكاة الأداء وتحليل النتائج المتحصل عليها، وأخيرا خلاصة العمل من استنتاجات وتوصيات مقترحة ستكون في الجزء الرابع من هذه الورقة.

2. التوصيف الرياضي

يستعرض هذا الجزء من الورقة المفاهيم الأساسية لانتشار الإشارة في نظم

$$P_{out,i}^{OMA} = Pr [|h_i|^2 < \frac{\beta'_i}{P_t}] \quad (14)$$

حيث

$$\beta'_i = 2^{2R_i} - 1 \quad (15)$$

3. المحاكاة ومناقشة النتائج

سيتم في هذا الجزء محاكاة أداء الوصلة (A2G) من ناحية الكفاءة الطيفية واحتمالية القطع باستخدام برنامج (MATLAB) لنظام اتصال بالطيران المسير يتكون من مستخدمين أرضيين اثنين مشاركان في الموارد من خلال تقنية النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال القدرة (PD-NOMA)، إضافة إلى مقارنة الأداء عند استخدام نفاذ (OMA). تمت المحاكاة بافتراض حالة السكون (ثبات الموقع) للمستخدمين الأرضيين بحيث يبعد المستخدم القريب والمستخدم البعيد عن مركز تغطية الطائرة المسيرة المسافتين $r_1 = 40 m$ و $r_2 = 120 m$ على الترتيب. إضافة إلى ذلك، سيتم الأخذ في الاعتبار الحركة الرأسية فقط للطائرة المسيرة بحيث يتغير ارتفاع التحويم من 20 متراً إلى 500 متر مع توصيف لحالة القناة (A2G) وفقاً لنموذجي الخبو كبير المدى (تبعاً لنموذج اعتمادية زاوية الارتفاع) وصغير المدى (وفقاً لتوزيع رايلي) اللذان تم توضيحهما في الجزء السابق من هذه الورقة، تم كذلك اختيار $-174 dBm/Hz$ لتكون الكثافة الطيفية لضوضاء النظام.

يوضح الشكلان (1) و (2) محاكاة أداء الكفاءة الطيفية عند المستخدمين القريب والبعيد على الترتيب وذلك عند قدرة ارسال كلية مقدارها $40 dBm$ مع خيارين لتخصيص معاملات القدرة لتراسل (NOMA) هما $(a_1 = 0.25, 0.35)$ للمستخدم القريب، و $(a_2 = 0.65, 0.75)$ للمستخدم البعيد. تبين النتائج أن أداء تراسل (NOMA) يكون أفضل من (OMA) لكلا المستخدمين. كما يلاحظ أن زيادة معاملات القدرة له تأثير أكثر فعالية على الكفاءة الطيفية للمستخدم القريب مقارنة بالمستخدم البعيد، فمثلاً عند ارتفاع تحويم 118 متراً، ينجز المستخدم القريب كفاءات طيفية $0.7572 bps/Hz$ و $0.9754 bps/Hz$ للمعاملات $(a_1 = 0.25, 0.35)$ على الترتيب، بينما يتحصل المستخدم البعيد على $0.06677 bps/Hz$ و $0.05805 bps/Hz$ للمعاملات $(a_2 = 0.65, 0.75)$ على الترتيب، وهذا يعود إلى زيادة قدرة التداخل عند المستخدم البعيد مما يؤدي إلى خفض قيمة نسبة الإشارة إلى الضوضاء والتداخل لديه.

تبين أيضاً النتائج الموضحة في الشكلين السابقين تحسن الأداء للمستخدمين الاثنين مع زيادة ارتفاع تحويم الطائرة المسيرة حتى يصل إلى قيمة معينة ثم تبدأ بعدها الكفاءة الطيفية في التناقص مما يعني وجود ارتفاع أمثل لتحويم الطائرة المسيرة بحيث تتحقق أقصى كفاءة طيفية عند كل مستخدم ولكل حالة تراسل. فعلى سبيل المثال، عند ارتفاع تحويم 60 متراً فإن المستخدم القريب يتحصل على كفاءة طيفية قصوى مقدارها $1.8240 bps/Hz$ لحالة تراسل (NOMA, $a_1 = 0.35$) و $1.105 bps/Hz$ لنفاذ (OMA)، في حين أن أقصى كفاءة طيفية يتحصل عليها المستخدم البعيد لحالتي تراسل (NOMA, $a_2 = 0.75$) و (OMA) على الترتيب وذلك عند ارتفاع تحويم مقدارها 185 متراً. هذا يرجع إلى تحسن فرصة الاتصال المباشر بين الطائرة المسيرة والمستخدم البعيد على النحو الأمثل عند التحويم على ارتفاع 185 متراً فيؤدي هذا إلى تعويض الزيادة في توهين الإشارة

العوامل الترددية المتعامدة، لكن مع ذلك تظل الكفاءة الطيفية الاجمالية منخفضة في نظم النفاذ المتعدد المتعامد نظراً لتخصيص كامل الحزمة الترددية لحامل ترددي محدد أو فترة زمنية معينة لكل مستخدم.

تهتم هذه الورقة بالنفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال القدرة (PD-NOMA) الذي يتم فيه تخصيص قدرة ارسال مختلفة لكل مستخدم اعتماداً على حالة جودة القناة، حيث تخصص قدرة أقل للمستخدم الأقرب من مركز تغطية الطائرة المسيرة الذي له جودة قناة مرتفعة مما يجعله يتعامل مع إشارات التداخل كضوضاء بينما تخصص قدرة أعلى للمستخدم الأبعد ذو الإشارة الأضعف والذي يقوم بإلغاء التداخل من خلال مبدأ فك التراكب المعروف بالإلغاء المتتالي للتداخل (Successive Interference Cancellation SIC) لفصل إشارات المستخدمين المختلفين عند طرف الاستقبال بشكل تدريجي. يمكن التعبير عن الإشارة المستقبلية بواسطة المستخدم (i^{th}) عبر الوصلة (A2G) في تراسل (NOMA) كالتالي:

$$y_i = h_i \sum_{i=1}^2 \sqrt{a_i P_t} x_i + n_i \quad (5)$$

حيث: P_t تشير إلى القدرة الكلية المرسل من الطائرة المسيرة، h_i تمثل معامل القناة للمستخدم الأرضي (i^{th}) ، x_i هي إشارة المعلومات للمستخدم الأرضي (i^{th}) ، a_i هو معامل تخصيص القدرة للمستخدم الأرضي (i^{th}) ، و n_i تمثل ضوضاء جاوس المركبة ذات المتوسط الصفري وانحراف معياري σ_n . باعتبار أن المستخدم القريب من مركز تغطية الطائرة المسيرة ذو الترتيب $(i = 1)$ له حالة قناة أفضل فيتم تخصيص له معامل قدرة أقل من المستخدم البعيد (أي: $a_1 < a_2$) وبشرط أن يكون:

$$a_1 + a_2 = 1 \quad (6)$$

وبناء على ذلك ستكون معاملات القناة للمستخدمين الاثنين مرتبة كالتالي:

$$|h_2|^2 \leq |h_1|^2 \quad (7)$$

بتطبيق مبدأ الفك عند الاستقبال لكلا المستخدمين واستخدام معادلة شانون، فإن الكفاءة الطيفية عند المستخدم القريب والبعيد هي على الترتيب كالتالي:

$$R_1^{NOMA} = \log_2 \left(1 + \frac{a_1 P_t}{\sigma_n^2} |h_1|^2 \right) \quad (8)$$

$$R_2^{NOMA} = \log_2 \left(1 + \frac{a_2 P_t |h_2|^2}{a_1 P_t |h_2|^2 + \sigma_n^2} \right) \quad (9)$$

للمقارنة، وحيث أن الموارد يتم اتاحتها بالتساوي بين المستخدمين في نظم النفاذ المتعدد المتعامد، فإن الكفاءة الطيفية عند المستخدم (i^{th}) لتراسل (OMA) هي كالتالي:

$$R_i^{OMA} = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{P_t}{\sigma_n^2} |h_i|^2 \right) \quad (10)$$

كما ذكر سابقاً، فإن ظروف القناة (A2G) تتغير عشوائياً بسبب حدوث ظاهرة الخبو مما يؤثر على معدل البيانات المطلوب الحصول عليه خلال فترة زمنية معينة، وهذا ما يمكن توصيفه من خلال معيار احتمالية القطع (Outage probability). يمكن التعبير عن احتمالية القطع عند استخدام النفاذ المتعدد غير المتعامد للمستخدمين القريب والبعيد على الترتيب كالتالي [16]:

$$P_{out,1}^{NOMA} = Pr \left[|h_1|^2 < \frac{\beta_1}{P_t a_1} \right] \quad (11)$$

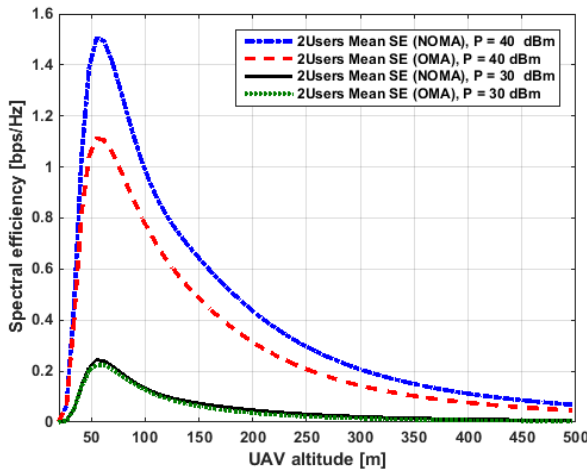
$$P_{out,2}^{NOMA} = Pr \left[|h_2|^2 < \frac{\beta_2}{P_t (a_2 - \beta_2 a_1)} \right] \quad (12)$$

حيث

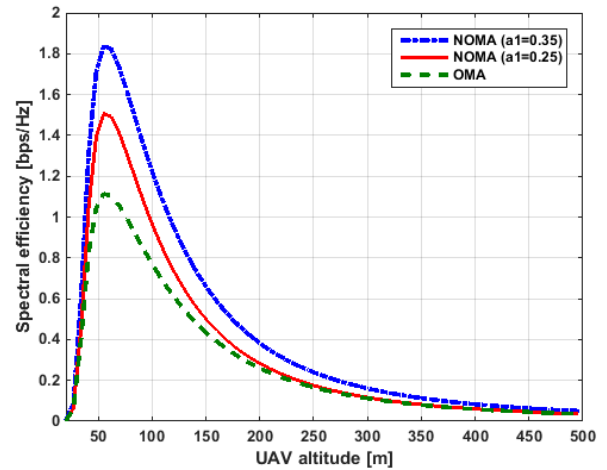
$$\beta_i = 2^{R_i} - 1 \quad (13)$$

حيث R_i هو معدل البيانات المطلوب عند المستخدم (i^{th}) . للمقارنة، تعطى احتمالية الحجب لحالة النفاذ المتعدد المتعامد وفقاً للآتي:

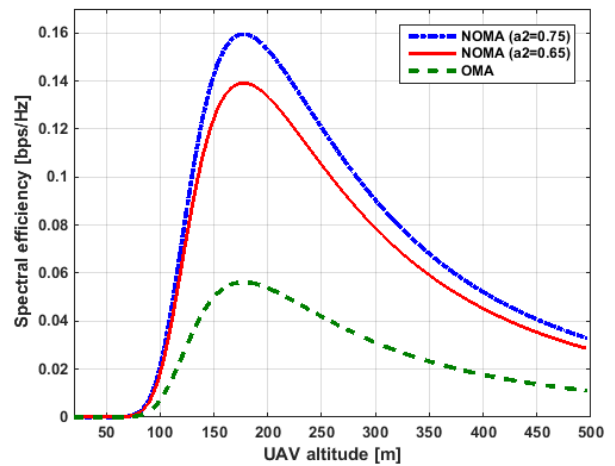
الناتج بسبب طول مسافة الانتشار الراديوي بزيادة الارتفاع، وعلى النقيض من ذلك سيكون لدى المستخدم القريب فقد مسار أعلى عند الارتفاع 185 مترا والذي لا يمكن تقليله بواسطة الاحتمال المرتفع للاتصال المباشر عبر خط البصر.



شكل 3: متوسط الكفاءة الطيفية لكل المستخدمين.



شكل 1: الكفاءة الطيفية عند المستخدم القريب.



شكل 2: الكفاءة الطيفية عند المستخدم البعيد.

الجدير بالذكر هنا، أن أداء نظم (OMA) يكون أفضل من (NOMA) لحالات الإرسال بقدرات منخفضة حيث تتخفف نسبة الإشارة إلى التداخل والضوضاء لمستخدمي نظام (NOMA) مما يؤدي إلى فشل خوارزميات (SIC) وبالتالي انخفاض إجمالي الكفاءة الطيفية بينما لا يواجه مستخدمو (OMA) أي تداخل. من ناحية أخرى، تعتبر احتمالية القطع من المعايير المهمة المستخدمة في تقييم أداء نظم الاتصالات الحديثة والتي تصف احتمال عدم الحصول على معدل التراسل المطلوب خلال فترة زمنية محددة. يوضح الشكل (4) والشكل (5) أداء احتمالية القطع عند استخدام تراسلي (NOMA) له معاملات تخصيص قدرة $(a_1 = 0.25, a_2 = 0.75)$ و (OMA) على الترتيب وذلك لخبري ارتفاع تحويم 60 و 185 مترا مع افتراض أن الكفاءة الطيفية المطلوبة عند كل مستخدم هي 1 bps/Hz ، حيث يلاحظ تحسن الأداء بانخفاض احتمالية القطع لجميع سيناريوهات التراسل عند استخدام نفاذ (NOMA) مقارنة بنفاذ (OMA) عدا حالة المستخدم البعيد المخصص له ارتفاع تحويم 60 مترا حيث لا يطرأ أي تحسن في الأداء بسبب سوء حالة القناة بين المستخدم البعيد والطائرة المسيرة عند هذا الارتفاع حيث يكون احتمال الاتصال عبر خط البصر منخفضا. علاوة على ذلك، تبين النتائج تحسن الأداء بشكل أفضل عند كل مستخدم مع زيادة قدرة الإرسال عند استخدام تراسل (NOMA). فعلى سبيل المثال، لارتفاع تحويم 185 مترا، تكون احتمالية القطع عند المستخدم البعيد 68% و 30% عندما تكون قدرة الإرسال 50 dBm و 55 dBm على الترتيب لحالة تراسل (NOMA) بينما تكون 97% و 69% لحالة (OMA) للقدريتين 50 dBm و 55 dBm على الترتيب. توضح النتائج أيضا بالشكلين (4) و (5) أن المستخدم البعيد يحصل على احتمالية قطع أعلى مقارنة بالمستخدم القريب، كما يلاحظ اتساع فجوة الأداء بين المستخدمين الاثنان عند ارتفاع تحويم 60 مترا مقارنة بالارتفاع 185 مترا، فمثلا لنظام (NOMA) مع قدرة إرسال 50 dBm فإن احتمالية الحجب عند الارتفاع 60 مترا للمستخدمين القريب والبعيد تكون 15% و 100% على الترتيب بينما للارتفاع 185 مترا تكون 69% للمستخدم القريب و 71% للمستخدم البعيد.

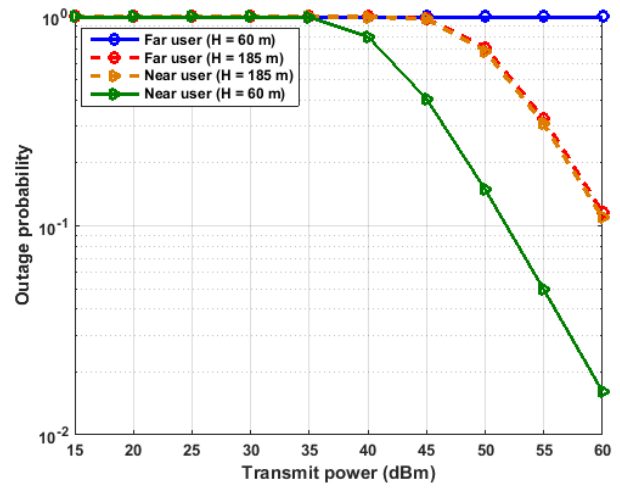
في ذات السياق، يوضح الشكل (3) مقارنة الأداء بين نظامي (NOMA) له معاملات تخصيص $(a_1 = 0.25, a_2 = 0.75)$ و (OMA) من ناحية متوسط الكفاءة الطيفية الإجمالية، حيث يلاحظ تفوق أداء نظام النفاذ غير المتعامد على نظيره المتعامد عند زيادة قدرة الإرسال نظرا لاستغلال نفاذ (NOMA) للموارد بشكل أفضل، فمثلا عند ارتفاع تحويم 160 مترا، يكون الفارق في متوسط الكفاءة الطيفية بين النظامين في حدود 0.1518 bps/Hz و 0.0119 bps/Hz لقدرتي الإرسال 40 dBm و 30 dBm على الترتيب وذلك لصالح نفاذ (NOMA) في كلتا الحالتين.

- يعطي تراسل (NOMA) أداء أفضل مقارنة بتراسل (OMA) خصوصا مع زيادة قدرة الإرسال نظرا لتحسن نسبة الإشارة إلى الضوضاء والتداخل عند كل مستخدم لحالة نفاذ (NOMA).
- يتحسن أداء المستخدم البعيد بشكل طفيف عند زيادة معاملات تخصيص القدرة له، وهذا يرجع إلى زيادة قدرة التداخل لدى المستخدم البعيد مما يعني ضرورة البحث عن معاملات تخصيص مثالية تتأقلم مع ظروف القناة لكل مستخدم.

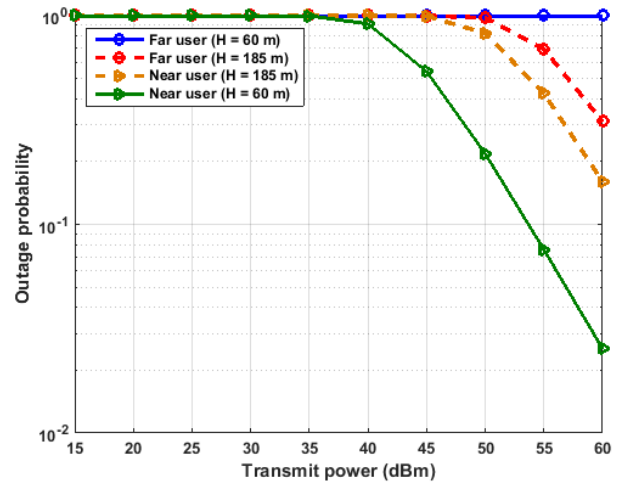
يمكن تنفيذ دراسة أخرى استكمالاً لهذه الورقة من خلال محاكاة الأداء بافتراض التوزيع العشوائي لأكثر من مستخدمين اثنين داخل منطقة خدمة الطائرة المسيرة مع البحث عن معاملات تخصيص قدرة بشكل أمثل لتحسين حالة القناة عند المستخدم الأبعد.

المراجع

- [1] Peng Yang, Xianbin Cao, Tony Q. S. Quek, and Dapeng Oliver Wu, "Networking of Internet of UAVs: Challenges and intelligent approaches," arXiv preprint arXiv:2111.07078, November 2021.
- [2] X. Cao, P. Yang, M. Alzenad, X. Xi, D. O. Wu, and H. Yanikomeroglu, "Airborne communication networks: A survey," IEEE Journal on Selected Areas in Communication, vol. 36, no. 9, pp. 1907–1926, August 2018.
- [3] Zeng, R. Zhang, and J. L. Teng, "Wireless communications with unmanned aerial vehicles: opportunities and challenges," IEEE Communication Magazine, vol. 54, no. 5, pp. 36–42, May 2016.
- [4] M. F. Sohail, C. Y. Leow, and S. Won, "Non-orthogonal multiple access for unmanned aerial vehicle assisted communication," IEEE Access, vol. 6, pp. 22716–22727, April 2018.
- [5] N. Rupasinghe, Y. Yapici, I. Guvenc, and Y. Kakishima, "Nonorthogonal multiple access for mmwave drones with multi-antenna transmission," on 51st Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers, pp. 1-6, October 2017.
- [6] Haijun Zhang, Jianmin Zhang, Keping Long, "Energy efficiency optimization for NOMA UAV network with imperfect CSI," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 38, no.12, pp.2798-2809, December 2020.
- [7] R. Duan, J. Wang, C. Jiang, H. Yao, Y. Ren, and Y. Qian, "Resource allocation for multi-UAV aided IoT NOMA uplink transmission systems," IEEE Internet of Things Journal, vol. 6, no. 4, pp. 7025-7037, April 2019.
- [8] Wanmei Feng, Jie Tang, Nan Zhao, Yuli Fu, Xiuyin Zhang, Kanapathippillai Cumanan, and Kai-Kit Wong, "NOMA-based UAV-aided networks for emergency communications," China Communications Journal, vol. 17, no.17 pp. 54-66, November 2020.
- [9] A. Al-Hourani and K. Gomez, "Modeling cellular-to-UAV path-loss for suburban environments," IEEE Wireless Communication. Letters., vol. 7, no. 1, pp. 82-85, February 2018.
- [10] D. Thuan, TU.T. Nguyen, TU. N. Nguyen, X.Li and M. Vosnak, "Uplink and downlink NOMA transmission using full-duplex UAV", IEEE Access, vol. 8, pp. 164347-164363, September 2020.
- [11] M. Mozaffari, W. Saad, M. Bennis, and M. Debbah, "Unmanned aerial vehicle with underlaid device-to-device communications: performance and trade-offs," IEEE Transactions. Wireless Communications, vol. 15, no. 6, pp. 3949–3963, Jun. 2016.
- [12] M. M. Azari, F. Rosas, K.-C. Chen, and S. Pollin, "Ultra reliable UAV communication using altitude and cooperation diversity," IEEE Transactions Communication Journal, vol. 66, no. 1, pp. 330–344, January 2018.



شكل 4: احتمالية القطع عند استخدام نفاذ (NOMA).



شكل 5: احتمالية القطع عند استخدام نفاذ (OMA).

4. الخلاصة

قدمت هذه الورقة تقييماً لأداء الوصلة النازلة المعروفة بقناة (A2G) لنظام اتصال يتكون من طائرة مسيرة واثنين من المستخدمين الأرضيين يتشاركان الموارد من خلال نفاذ (NOMA)، كما تم مقارنة الأداء عند استخدام نفاذ (OMA). تم الأخذ في الاعتبار الكفاءة الطيفية واحتمالية القطع كمعيارين لتقييم أداء القناة (A2G) عند كل مستخدم، ويمكن من خلال النتائج المتحصل عليها الوصول إلى الاستنتاجات الآتية:

- وجود ارتفاع محدد لتحويل الطائرة المسيرة بحيث يتحصل كل مستخدم على أفضل أداء، ويعتمد هذا الارتفاع الذي يمكن وصفه بالارتفاع الأمثل على موقع المستخدم الأرضي بالنسبة للطائرة المسيرة وبالتالي على فرص احتمالية الاتصال المباشر بينهما.
- تقل فجوة الأداء في احتمالية الانقطاع بين المستخدمين الاثنين وذلك عند ارتفاع التحويل الأمثل بالنسبة للمستخدم البعيد.
- تتسع فجوة الأداء من ناحية الكفاءة الطيفية بين نظامي (NOMA) و (OMA) وذلك عند الارتفاع الأمثل لتحويل الطائرة المسيرة بالنسبة لكل مستخدم، وتقل الفجوة بين النفاذين بزيادة أو نقصان ارتفاع التحويل عن قيمته المثلى.

- [15] M. Mahdi Azari, Y. Murillo1, O. Amin, F. Rosas, M. S. Alouini, S. Pollin, "Coverage maximization for a Poisson field of drone cells," arXiv preprint arXiv:1708.06598, 2017.
- [16] K. Sharma and D. I. Kim, "UAV-enabled downlink wireless system with non-orthogonal multiple access," in IEEE Global Communication Workshops, pp.1-6, December 2017.
- [13] B. Galkin, J. Kibilda, and L. A. DaSilva, "Coverage analysis for low-altitude UAV networks in urban environments," in IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), pp. 1-6, December 2017.
- [14] J. Lyu, Y. Zeng, and R. Zhang, "Cyclical multiple access in UAV aided communications: a throughput-delay tradeoff," IEEE Wireless Communications Letters, vol. 5, no. 6, pp. 600–603, December 2016.