تقنية الاتصال بالمنصات عالية الارتفاع

م. هديل عبدالصمد عبد الرحمن
جامعة مصراتة، قسم الهندسة الكهربائية والإلكترونية،
مصراتة، ليبيا
hadeelaln33s@gmail.com

أ. عبد الله أبوبكر أبوعربية
جامعة مصراتة، قسم الهندسة الكهربائية والإلكترونية،
مصراتة، ليبيا
a.abuarabia@misuratau.edu.ly

الملخص – **تُعتبر نظم الاتصال بالمنصات عالية الارتفاع إحدى نظم الاتصالات اللاسلكية التي يُنظر اليها كتقنية حديثة لتوفير خدمات الاتصالات الثابتة والمتنقلة على نطاق جغرافي واسع بشكل مستقل أو متكامل مع النظم اللاسلكية الأخرى كالنظم الأرضية ونظم الأقمار الصناعية. تهدف هذه الورقة إلى التعريف بتقنية الاتصال بالمنصات عالية الارتفاع ومن ثم دراسة أداء الوصلة النازلة للمنصة عالية الارتفاع في توفير خدمة اتصالات ذات نطاق عريض لمستخدم أرضي اعتماداً على قياسات عملية سابقة تخص متغيرات القناة. سيكون تقييم أداء الوصلة النازلة كدالة في معدل الخطأ بالبيانات بافتراض عدة سيناريوهات تتعلق بكل من المنصة الجوية والمستخدم الأرضي. أظهرت النتائج أن زاوية ارتفاع المستخدم بالنسبة للمنصة وسرعة تنقله، إضافةً الى عرض نطاق القناة له تأثير فعال على جودة الخدمة وبالتالي على مدى التغطية للمنصة الجوية.**

الكلمات المفتاحية— **منصة عالية الارتفاع** (HAP)، **زاوية ارتفاع** (Elevation angle)، **الوصلة النازلة** (Downlink)، **معدل الخطأ في البيانات** (BER).

1. المقدمة

تتمثل إحدى الأهداف الرئيسية لأنظمة الاتصالات في المستقبل في الدمج السلس لخدمات الوسائط المتعددة المتقدمة عبر شبكات غير متجانسة مثل الشبكات الأرضية الثابتة واللاسلكية المتنقلة وأنظمة الاتصال بالأقمار الصناعية. ظهرت في الفترة الحديثة بنية تحتية أخرى لها أهمية بالغة في عالم الاتصال اللاسلكي تعرف هذه التقنية بنظم المنصات عالية الارتفاع (High Altitude Platforms) والمعروفة بالمختصر (HAPs). يعتمد نظام الاتصال بالمنصة العالية على منصة جوية تعمل بالوقود أو الطاقة الشمسية لتقوم بتزويد خدمات الاتصال الثابت والمتنقل بمعدل بيانات مرتفع لمناطق جغرافية واسعة النطاق. تقع المنصة الجوية على ارتفاع يتراوح ما بين 17 الى 22 كم فوق سطح البحر وهذا الارتفاع يعرف بطبقة الستراتوسفير (Stratosphere layer) من الغلاف الجوي لذا يسمى هذا النظام في بعض الأحيان بالمنصة الستراتوسفرية (SPF)، ويرجع سبب اختيار هذا الارتفاع إلى مميزات مناخية منها على سبيل المثال أن سرعة الرياح منخفضة في المنطقة الستراتوسفيرية من الغلاف الجوي مما يجعل المنصة الجوية تحافظ على موضعها أطول فترة ممكنة [1-3]. ويُنظر حالياً الى نظم الاتصال عبر محطات المنصات العالية كتقنية واعدة لتوفير خدمات النطاق العريض لاسلكيا لكل من المستخدمين المتنقلين والثابتين بمعدلات بيانات مرتفعة وذلك في نطاقات الترددات الموزعة من جانب الاتحاد الدولي للاتصالات. الخدمات المتوقعة هي الاتصالات الخلوية بأجيالها المتطورة، البث الصوتي والمرئي، الوصول إلى الشبكة الرقمية للخدمات المتكاملة، التعليم عن بعد، مؤتمرات الفيديو عالية الدقة، والتطبيقات الطبية. يمكن تقديم هذه الخدمات بكفاءة عالية عن طريق نقل المعلومات عبر شبكات هجينة أرضية والمنصات عالية الارتفاع وشبكات الأقمار الصناعية، مما يؤدي إلى توسيع نطاق التغطية وتوزيع الخدمات دون زيادة تحميل الأجزاء الأرضية وانخفاض التكاليف الإجمالية.

استلمت الورقة بالكامل في 3 سبتمبر 2019 وروجعت في 2 اكتوبر 2019 وقبلت للنشر في 8 اكتوبر 2019

ونشرت ومتاحة عل الشبكة العنكبوتية في 10 اكتوبر 2019

أيضاً يمكن استخدام المنصات عالية الارتفاع في مراقبة الطقس والبيئة وبناء شبكة اتصال لحالات الطوارئ وهو الاستخدام الأكثر شيوعاً حيث أنه يمكن للمحطة استعادة القدرة على العمل بعد الكوارث بوقت نشر صغير. تختلف بنية المنصة عالية الارتفاع حسب الاستخدام المطلوب وينقسم ذلك إلى:

- استخدام المنصة عالية الارتفاع كوسيط بين النظم الخلوية الأرضية لتوصيل البيانات كخدمات الصوت والفيديو والإنترنت بمعدلات إرسال عالية.
- استخدام المنصة عالية الارتفاع كنظام مستقل بذاته لتوصيل البيانات للمستخدمين عبر تعدد تلك المنصات.
- استخدام المنصة عالية الارتفاع كوسيط بين نظم الأقمار الصناعية ومحطاتها الأرضية لتحسين الأداء.

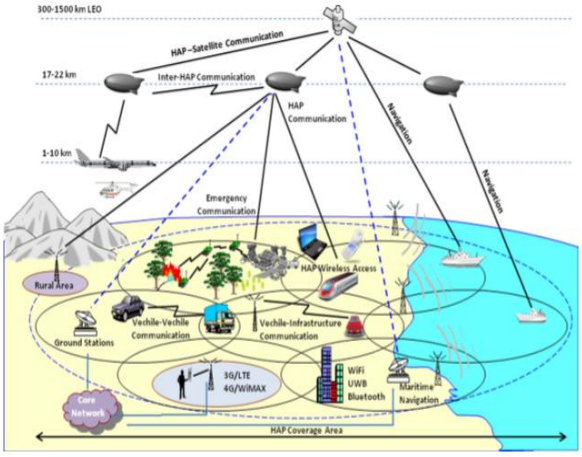
تمتاز نظم الاتصال بالمنصات عالية الارتفاع بمساحة تغطية كبيرة مقارنةً بالنظم الأرضية بسبب الاحتمالية المرتفعة لخط الرؤية (Line of Sight) المتوفر بين المرسل والمستقبل، كما أن للمنصة الجوية تكلفة وفقد انتشار وزمن تأخير أقل مقارنةً بنظم الاتصال بالأقمار الصناعية. يوضح الشكل (1) الإطار البنيوي لشبكات الاتصالات المستقبلية على أساس تكامل خدمات النظم الأرضية مع محطات المنصات عالية الارتفاع والأقمار الصناعية، بينما الجدول (1) يُعطي مقارنةً بين نظم الاتصال بالمنصات عالية الارتفاع وكلاً من نظم الاتصال الأرضية ونظم الأقمار الصناعية.

جدول 1. مقارنة بين نظم الاتصالات اللاسلكية المختلفة

وجه المقارنة	النظم الأرضية	نظم المنصات العالية	نظم الأقمار الصناعية
ارتفاع الهوائي	عشرات الامتار	22-17 كم	36000-400 كم
تكلفة الانجاز	حسب مسافة النشر	أقل مقارنة بنظم الأقمار الصناعية	مرتفعة
فقد الانتشار	يعتمد على المسافة من المحطة الأساسية	أقل مقارنة بنظم الأقمار الصناعية	كبير
قناة الانتشار	Rayliegh	Rician	Rician
احتمالية الاتصال المباشر	تعتمد على بيئة الانتشار	مرتفعة	مرتفعة
نطاق التغطية	صغير	أقل مقارنة بنظم الأقمار الصناعية	كبير

تُمثل معطيات قناة الاتصال اللاسلكية المتعلقة بخصائص الانتشار المشكلة الأساسية في طريق إجراء اتصال لاسلكي موثوق وبسرعة تدفق بيانات عالية لمسافات بعيدة تملؤها العوائق، وهذا ليس فقط بسبب الضوضاء أو بسبب التداخل الناجم عن وجود إشارات أخرى مشتركة في نفس القناة، ولكنه أيضاً بسبب التغيرات العشوائية التي تطرأ على قناة الاتصال نتيجة لحركة المستخدم أو حركة الاجسام المحيطة به، هذه التغيرات التي تحدث في قناة الاتصال اللاسلكية يصعب توقعها نظراً لعشوائية موضع المستخدم وطريقة حركته وحركة الأجسام المحيطة به. لذا يتم فرض عدة سناريوهات تبعاً لموضع المستخدم وحركته إضافة إلى معاملات القناة والإشارة المرسلة، ومن ثم نمذجة هذه السيناريوهات وفق بيئة واقعية مدروسة المعاملات

(البارامترات) والخصائص لتحليل الأداء العام لنظام الاتصال اللاسلكي ومن ثُم محاولة تحسينه. تهدف هذه الورقة إلى التعريف بنظم المنصات عالية الارتفاع كتقنية حديثة لأنظمة الاتصالات اللاسلكية وتوفير مادة علمية باللغة العربية للمفاهيم الأساسية لنظم المنصات العالية، ومن ثُم الى دراسة أداء الوصلة النازلة لمنصة عالية الارتفاع (HAP-Downlink) كدالة في احتمال معدل خطأ البيانات (البتات) (Bit Error Rate BER) بافتراض سيناريوهات عدة تعتمد على موقع المستخدم بالنسبة للمنصة وسرعة تنقله إضافة الى تأثير عرض نطاق القناة على الأداء العام للنظام. خُصص الجزء الثاني من هذه الورقة للتركيز على التوصيف الرياضي لتحليل أداء مسار الوصلة النازلة لنظام المنصة عالية الارتفاع، أما تحليل النتائج المُتحصل عليها وتعليلها فسيكون ضمن الجزء الثالث. أما الجزء الأخير من هذه الورقة فهو لذكر الاستنتاجات واقتراح التوصيات.



شكل 1. تكامل نظم الاتصال بالمنصات عالية الارتفاع مع نظم الاتصالات الأخرى [2]

2. النمذجة الرياضية للمسار النازل للمنصة عالية الارتفاع

تعتبر القناة اللاسلكية التي تتبع توزيع ريشن (Rician) الأنسب في دراسة وتوصيف مسار الاتصال بين مستخدم أرضي ونظام منصة عالية الارتفاع نظراً للاحتمالات المرتفعة لحالات خط الرؤية المتوفرة بين المنصة الجوية والمستخدمين بسبب ارتفاع المنصة المُعتبر عن سطح الأرض [4]. ستكون هناك مركبتان للإشارة المستقبلة بواسطة المستخدم الأرضي من خلال القناة التي تتبع توزيع (Rician)، الأولى عبر المسار المباشر (LOS) والمركبة الأخرى عبر تعدد المسارات (NLOS)، وتُعطي النسبة بين قدرتي هاتين المركبتين المعامل (K) والذي يعرف رياضياً كالتالي:

$$K = \frac{A^2}{2\sigma^2} \qquad (1)$$

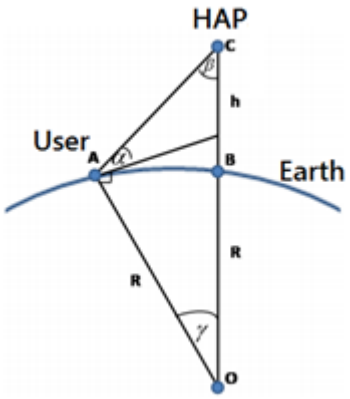
حيث:
A^2 : متوسط قدرة مركبة الإشارة المستلمة عبر المسار المباشر بالوات.
$2\sigma^2$: متوسط قدرة مركبة الإشارة المستلمة عبر تعدد المسارات أو مركبة التشتت (Scattered component). الإشارة المستلمة بواسطة المستخدم الأرضي يمكن التعبير عنها في المجال الزمني وفقا لتوزيع (Rician) كالاتي:

$$x(t) = \sqrt{\frac{K}{K+1}} e^{j(2\pi f_D \cos(\alpha(t)))} + \sqrt{\frac{1}{K+1}} h(t) \qquad (2)$$

حيث: $h(t)$ مركبة التشتت والتي لها متوسط قدرة σ^2، و f_D تمثل إزاحة دوبلر الترددية الناتجة من حركة المستخدم والتي يمكن تعريفها بدلالة التردد الحامل(f_c) وسرعة المستخدم (v) وزاوية الارتفاع بين المنصة والمستخدم (α) كالتالي :

$$f_D = \frac{v}{c} f_c cos(\alpha) \qquad (3)$$

تعتبر زاوية الارتفاع من المعاملات المهمة التي تتحكم في مقدار نصف قطر التغطية للمنصة عالية الارتفاع، حيث إن لكل شعاع منبعث من المنصة المحمولة جواً ستكون له منطقة تغطية معلومة على سطح الأرض اعتماداً على قيمة تلك الزاوية. يوضح الشكل (2) التحليل الهندسي لمنطقة تغطية المنصة عالية الارتفاع على سطح الأرض، ومن خلاله يمكن تعريف نصف قطر منطقة التغطية (r) كدالة في كل من زاوية انطلاق الشعاع من المنصة (β)، زاوية الارتفاع (α)، ارتفاع المنصة (h) ونصف قطر تقوس سطح الأرض (R=6400km) كالاتي:



شكل 2. هندسية منطقة التغطية لنظام المنصة عالية الارتفاع

$$\frac{R+h}{\sin(90+\alpha)} = \frac{R}{sin\beta} \qquad (4)$$

كذلك ينتج لدينا:

$$sin\beta = \frac{Rsin(90+\alpha)}{R+h} = \frac{R}{R+h} cos\alpha \qquad (5)$$

باستخدام التعويضات المثلثية لحل المعادلتين (4) و(5)، فإن نصف قطر منطقة التغطية للمنصة عالية الارتفاع يمكن وصفه رياضياً كالآتي:

$$r = AB = [cos^{-1}\left(\frac{R}{R+h} cos\ \alpha\right) - \alpha] \times 2R \qquad (6)$$

بالرجوع الى تحليل مركبات الإشارة المستلمة عبر قناة (Rician)، فإن القيمة المتوسطة لقدرة الإشارة المستقبلة بواسطة المستخدم الأرضي ستكون مجموع مركبتي المسار المباشر (LOS) ومركبة التشتت (NLOS) وهي كالتالي:

$$E[x^2(t)] = A^2 + 2\sigma^2 \qquad (7)$$

المعادلة (2) يمكن إعادة كتابتها للتعبير عن مركبتي المسار المباشر وغير المباشر لتكون على الصورة الآتية:

$$H = \sqrt{\frac{K}{K+1}} H_{LOS} + \sqrt{\frac{1}{K+1}} H_{NLOS} \qquad (8)$$

دالة كثافة الاحتمالية (Probability density function *pdf*) لتوزيع (Rician) يمكن التعبير عنها بدلالة المعامل (K) والقيمة اللحظية لقدرة إشارة الضوضاء (γ) وفق المعادلة الآتية [5]:

$$p(\gamma) = \frac{(1+K)e^{-K}}{\overline{\gamma}} e^{\left[-\frac{(1+K)\gamma}{\overline{\gamma}}\right]} I_0\left(2\sqrt{\frac{K(K+1)\gamma}{\overline{\gamma}}}\right) \quad (9)$$

حيث:
γ: القيمة اللحظية لنسبة قدرة الإشارة للضوضاء.
$\overline{\gamma}$: متوسط القيمة اللحظية لنسبة قدرة الإشارة للضوضاء.
I_0 دالة بيسل (Bessel) من الرتبة الصفرية.

عند القيمة الصغيرة للمعامل (K) فإن دالة كثافة الاحتمالية ستؤول إلى توزيع رايلي (Rayleigh) بينما القيم الكبيرة للمعامل (K) فإن تعدد المسارات سيتلاشى وتصبح القناة ضوضائية التأثير مثلاً عند (K =∞).

يُعرف معدل الخطأ في الرموز (Symbol error rate SER) على أنه تكامل دالة الاحتمال الشرطي ($P_{S(e/\gamma)}$) فوق دالة الكثافة الإحتمالية $p(\gamma)$ ويحسب رياضياً كالتالي :

$$P_{S(e)} = \int_0^\infty P_{S(e/\gamma)} p(\gamma)\, d(\gamma) \quad (10)$$

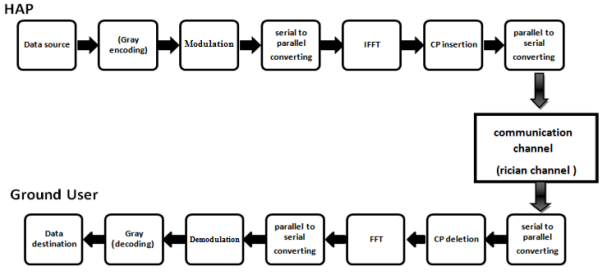
احتمال الخطأ في الرموز في حالة الإرسال عبر قناة (Rician) باستخدام التضمين (MQAM) يُعبر عنه كالتالي [5]:

$$P_{S(e)} = \left\{1 - \left[1 - \frac{2(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M}} Q\left(\sqrt{\frac{3\overline{\gamma}}{M-1}}\right)\right]^2\right\} \quad (11)$$

من خلال احتمال الخطأ في الرموز وعدد البتات بالرمز، يمكن إيجاد احتمال معدل الخطأ في البتات كالتالي:

$$P_{b(e)} = \frac{P_{S(e)}}{\log_2 M} \quad (12)$$

سيتم تحليل أداء الوصلة النازلة وفقاً لمتغيرات نظام المنصة العالية إضافة الى بارامترات الإشارة المرسلة والتي هي إشارة عريضة النطاق تتبع التقسيم الترددي المتعامد (*Orthogonal frequency division multiplexing* OFDMA) كتقنية وصول متعدد، مع استخدام خيارات عدة لعرض القناة. تم تنفيذ مخطط المحاكاة وفقا للتسلسل المتبع في التقسيم الترددي المتعامد والمبين بالشكل (3) لتقييم أداء الوصلة النازلة لنظام المنصة العالية كدالة في احتمال متوسط معدل الخطأ بالبتات ومتوسط قدرة الإشارة للضوضاء.



شكل 3. مراحل الإرسال والاستقبال عبر تقنية (OFDMA) على الوصلة النازلة لنظام (HAP)

نموذج المحاكاة يفترض إرسال إشارة ذات نطاق عريض عبر قناة خبو مسطح تتبع توزيع (Rician) من منصة عالية الارتفاع إلى مستخدم أرضي. في البداية يتم توليد عشوائي لسلسلة من البيانات الثنائية الرقمية باستخدام لغة (MATLAB) ثم تضمين الرموز بعدد معين من البتات باستخدام إحدى تقنيات التضمين الرقمي المتاحة على الوصلة النازلة .

يتم بعد ذلك تحويل البيانات المضمنة رقميا الى صورة متوازية ليتم تحويلها من نطاق التردد الي بيانات في المجال الزمني عن طريق تنفيذ معكوس تحويل فوريير (IFFT)عليها. يلي ذلك إدخال بادئة دورية بطول اعتيادي لتقليل التداخل بين الرموز .أخيرا، تم تحويل البيانات المتوازية المعدلة إلى دفق بيانات تسلسلي ليتم إرسالها عبر قناة الاتصال اللاسلكية تحت تأثير الضوضاء والخبو. ناحية الاستقبال، يتم تنفيذ عكس الإجراءات التي تم اجراؤها في قسم الإرسال ثم مقارنة البيانات المرسلة بالمستلمة لحساب احتمال معدل الخطأ بالبتات.

قيم المعامل (K) المُستخدمة في النمذجة هي قياسات عملية تم تنفيذها عند تردد مركزي 2.4GHz والتي يمكن الرجوع إليها في [6]. قيم المعامل (K) تتفاوت باختلاف زاوية الارتفاع بين المنصة الجوية والمستخدم الارضي، فكانت أعلى قيمة مُسجلة (K=17.4dB) عند زاوية ارتفاع (90°) بينما أقل قيمة كانت (K=0.82dB) عند الزاوية (10°). الجدول (2) يوضح باقي معاملات المحاكاة المستخدمة لتقييم أداء الوصلة النازلة لنظام المنصة العالية.

جدول 2. معاملات المحاكاة لتقييم أداء الوصلة النازلة للمنصة العالية

المعامل	القيمة
تردد التشغيل	2.4 GHz
قدرة إرسال المنصة الجوية	43dBm
طبيعة المنطقة الجغرافية	شبه حضرية
زاوية ارتفاع المستخدم بالنسبة للمنصة	10^0 to 90^0
سرعة المستخدم	0km/hr, 3km/hr, 250km/hr
عرض القناة	10MHz, 20MHz
حجم تحويل فوريير السريع	1024, 2048
معدل العينات	15.36MHz, 30.72MHz
حجم كتلة الموارد	84 elements
طول البادئة الدوارة	Normal CP: 4.68 µsec
مسافة فصل الحوامل الترددية	15 KHz
نوع التضمين الرقمي	16QAM

3. النتائج وتحليلها

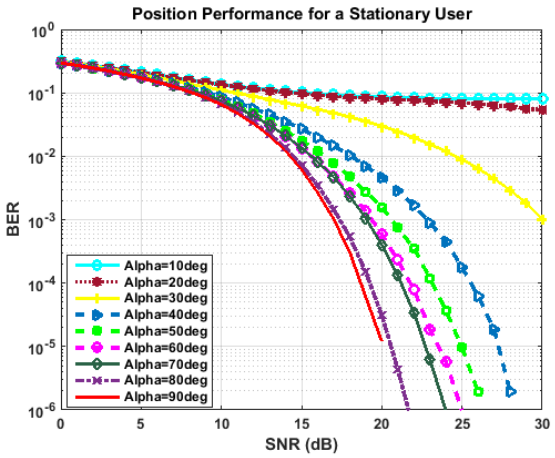
أ. تحليل الأداء وفقا لحركة وموقع المستخدم الارضي بالنسبة للمنصة:

في هذا التقييم، يتم تحليل أداء الوصلة النازلة للمنصة عالية الارتفاع عندما يكون عرض القناة (10MHz) في 3 سيناريوهات تخص حركة المستخدم الأرضي، الأول عندما يكون المستخدم ساكناً (عديم الحركة)، الثاني عندما يكون المستخدم ماشياً بسرعة (3km/hr) والأخير عندما يكون سريع التنقل (250km/hr). النتائج كانت كالآتي:

- *تقييم الأداء لمستخدم ساكن:*

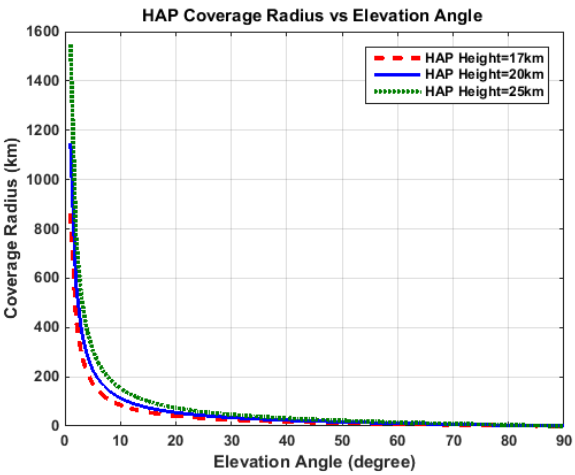
يوضح الشكل (4) نتائج المحاكاة عند زاويا ارتفاع مختلفة بالنسبة للمنصة كدالة في معدل الخطأ بالبتات وقدرة الإشارة للضوضاء لمستخدم

عديم الحركة. نلاحظ انه عندما تكون زاويا الارتفاع في النطاق (30^0-10^0) (ما يعني أن المستخدم موجود عند حواف التغطية للمنصة الجوية) سيكون الأداء سيئاً وذلك بسبب تأثير التداخل إضافةً الى أن تعدد المسارات سيكون تأثيره اقصى ما يمكن عند زاويا الارتفاع المنخفضة مما يؤثر على قدرة الإشارة المستقبلة وبالتالي تزداد قيمة معدل الخطأ بالبتات، بينما سيقل تأثير تعدد المسارات عند وصول زاوية الارتفاع الى 40^0 فما فوق، مما يعطي اقصى نصف قطر تغطية ممكن مقداره (23.84km) من منصة جوية على ارتفاع (20km) وذلك عندما يكون احتمال أقصى معدل خطأ بالبتات مسموح به عند الاستقبال (10^{-5}).



شكل 4. أداء الوصلة النازلة لمستخدم ساكن عند زوايا ارتفاع مختلفة

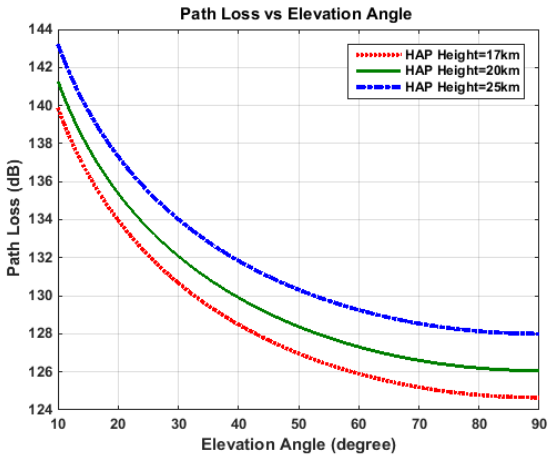
كما هو ملاحظ فإن زاوية الارتفاع بين المنصة والمستخدم تعتبر من المعاملات المهمة التي تتحكم في جودة الأداء للوصلة النازلة وبالتالي في مقدار نصف قطر التغطية للمنصة عالية الارتفاع، فكلما قلت زاوية الارتفاع زاد معه نصف قطر التغطية ولكن في المقابل يزداد معه أيضاً توهين الإشارة نظراً لازدياد طول المسار وازدياد فرص حدوث تشتت تعدد المسارات. يُبين الشكل (5) العلاقة بين نصف قطر التغطية وزاوية الارتفاع بينما الشكل (6) يوضح مدى ازدياد توهين الإشارة المرسلة عند انخفاض زاوية الارتفاع بين المنصة الجوية والمستخدم الأرضي وذلك عند ارتفاعات مختلفة للمنصة الجوية.



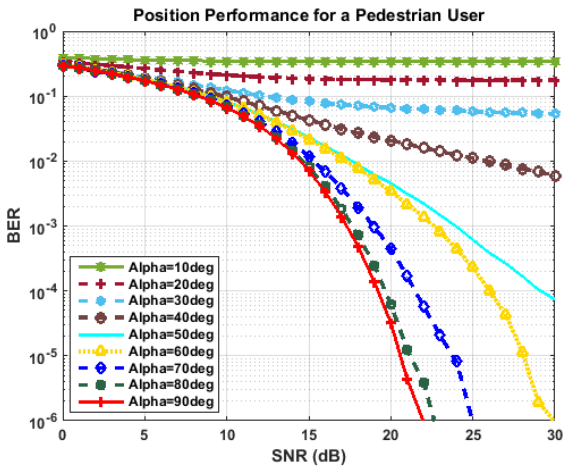
شكل 5. تأثير زاوية الارتفاع على نصف قطر التغطية للمنصة الجوية

- *تقييم الأداء لمستخدم بطيء التنقل:*

يوضح الشكل (7) تقييم الأداء عند زوايا ارتفاع مختلفة بالنسبة للمنصة الجوية كدالة في معدل الخطأ بالبتات لمستخدم أرضي يتحرك سيراً على الأقدام بسرعة (3km/hr). نلاحظ من خلال الشكل (7) أن الأداء العام يكون أقل مقارنة بحالة عدم الحركة. بازدياد الحركة فإن انحرافات دوبلر تؤثر بصورة سلبية على الأداء مما يرفع معدل الخطأ. سيتحسن أداء النظام عند وصول زاوية الارتفاع إلى 55^0 فما فوق وذلك عندما يكون أقصى احتمال لمعدل الخطأ بالبتات المسموح به في الاستقبال (10^{-5})، مما يُعطي اقصى نصف قطر تغطية ممكن قيمته (14km) لمنصة على ارتفاع (20km) في حالة المستخدم المتحرك مشياً على الأقدام بسرعة (3km/hr).



شكل 6. تأثير زاوية الارتفاع على مقدار الفقد الحاصل للإشارة المرسلة

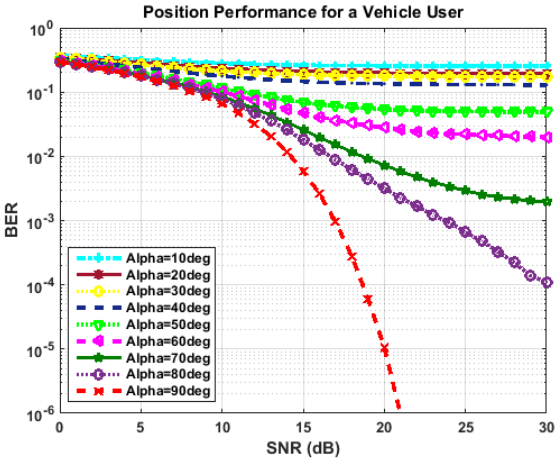


شكل 7. أداء الوصلة النازلة لمستخدم يتحرك ماشياً عند زوايا ارتفاع مختلفة

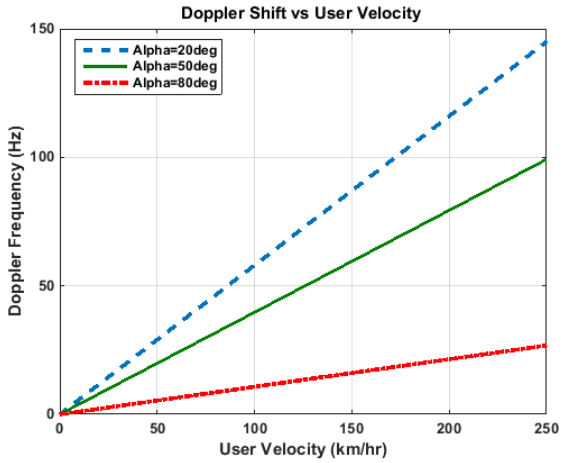
- *تقييم الأداء لمستخدم سريع التنقل:*

يُبين الشكل (8) نتائج المحاكاة عند زوايا ارتفاع مختلفة بالنسبة للمنصة الجوية كدالة في معدل الخطأ بالبتات وقدرة الإشارة للضوضاء لمستخدم متحرك بسرعة (250km/hr). نلاحظ أنه عندما تكون زاوية الارتفاع (90^0) فإن الأداء يكون أفضل ما يمكن في هذه الحالة نظراً لانعدام تأثير انحرافات دوبلر عند مركز التغطية للمنصة وحيث يكون مدى خط البصر مباشراً وبأقصر مسافة انتشار بين المستخدم والمنصة. خلاف ذلك، فإن الأداء سيكون سيئاً بسبب تزايد انحرافات دوبلر مع ازدياد سرعة الحركة، وانخفاض زاوية الارتفاع بين المرسل والمستقبل.

مع ذلك، يجب الأخذ في الاعتبار العلاقة بين مدى نصف قطر التغطية وقيمة انحراف دوبلر مع زاوية الارتفاع، فكلاهما يتناسب عكسياً مع زاوية ارتفاع المستخدم بالنسبة للمنصة. الشكل (9) يبين العلاقة بين انحراف دوبلر وسرعة المستخدم عند 3 خيارات لزاوية الارتفاع بين المنصة الجوية والمستخدم الأرضي والتي هي نفسها زاوية وصول الشعاع المستقبل عند المستخدم وفي اتجاه الحركة.



شكل 8. أداء الوصلة النازلة لمستخدم سريع الحركة عند زوايا ارتفاع مختلفة



شكل 9. انحرافات دوبلر عند زوايا ارتفاع مختلفة

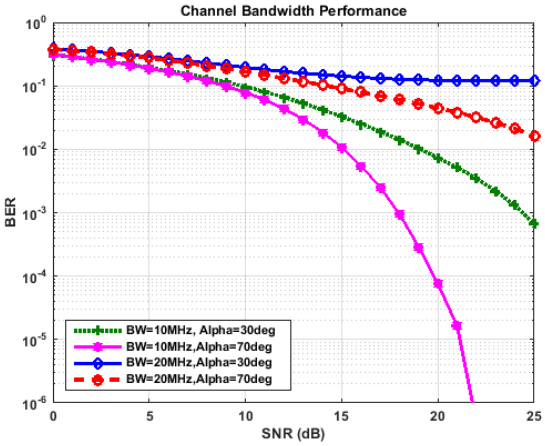
الجدول (3) يعطي مقارنة رقمية لاحتمال معدل الخطأ بالبتات عند سرعات مختلفة للمستخدم وذلك عند 4 خيارات مختلفة لزاوية الارتفاع.

جدول 3. معدل الخطأ عند سرعات وزوايا ارتفاع مختلفة

Elevation Angle	Probability of BER		
	0km/hr	3km/hr	250km/hr
20^0	0.08570	0.17810	0.26513
40^0	0.00461	0.02052	0.13480
60^0	0.00058	0.00340	0.02781
80^0	0.00003	0.00007	0.00316

ب. تحليل الأداء وفقا لعرض النطاق الترددي للقناة:

في هذا التقييم، يتم تحليل أداء الوصلة النازلة للمنصة العالية لمستخدم أرضي ساكن في خيارين لعرض القناة هما 10MHzو20MHz مع خيارين مختلفين أيضاً لزاوية الارتفاع. من النتائج الموضحة في الشكل (10) يمكن ملاحظة أن الأداء يقل كلما ازداد عرض القناة نظراً لارتفاع قدرة الضوضاء مع ارتفاع عرض النطاق وبالتالي انخفاض نسبة قدرة الإشارة للضوضاء المستلمة عند المستخدم الأرضي فيزداد معدل الخطأ. من الملاحظ أيضاً أن تأثير عرض النطاق يكون محسوساً عندما تكون قيمته (10MHz) مقارنة بالعرض (20MHz) عند استخدام زوايا ارتفاع مختلفة بين المستخدم الأرضي والمنصة الجوية وذلك عند قدرة إشارة للضوضاء أعلى من (20dB). يجدر التنويه هنا أن السعة الفعلية للنظام تتناسب طردياً مع عرض القناة حتى لا يُوهم القارئ أن الأداء للنظم ذات عرض نطاق القناة الأقل أفضل، بل يجب الأخذ في الاعتبار العلاقة بين عرض القناة وكلا من السعة المقاسة بالبت لكل ثانية وجودة الإشارة المستلمة كدالة في كل من معدل الخطأ وقدرة الإشارة للضوضاء.



شكل 10. أداء الوصلة النازلة لمستخدم ساكن عند خيارين لعرض القناة

4. الخلاصة والتوصيات

تُعتبر نظم الاتصال بالمنصات عالية الارتفاع موضوع الدراسة، أحد التطبيقات التي سيكون لها مستقبل كبير في توفير خدمة الاتصالات اللاسلكية عالية السرعة في زمن حقيقي لمستخدمين بمناطق جغرافية شاسعة صعبة التضاريس مع إمكانية تكاملها مع نظم الاتصالات بالأقمار الصناعية والأرضية باستخدام تقنيات حديثة كالهوائيات الذكية ونظم الراديو الإدراكي والنظم المتعددة المداخل والمخارج، حيث تهدف جميعها إلى تقليل التداخل وزيادة السعة وتأمين اتصال فوري على مساحات شاسعة. تناولت هذه الورقة البحثية بعض المفاهيم الأساسية لنظم الاتصال بالمنصات عالية الارتفاع ومن ثم تطرقت إلى تحليل أداء الوصلة النازلة للمنصة الجوية باستخدام معيار احتمال معدل الخطأ بالبتات لعدة حالات مختلفة تخص كلاً من المنصة، المستخدم الأرضي والإشارة المرسلة. لُوحظ من خلال النتائج المُتحصل عليها أن لزاوية الارتفاع بين المستخدم والمنصة دوراً فعالاً في جودة الخدمة نظراً لارتباط ذلك بطول المسارات وتعددها، حيث وُجد أن الأداء عند مركز تغطية المنصة يكون أفضل ما يمكن، أي عند زاوية ارتفاع (90°)، وفي المقابل سيقل الأداء بازدياد معدل الخطأ بالبتات كلما قلت زاوية الارتفاع مما يعني ابتعاد المستخدم عن مركز تغطية المنصة الجوية ما يزيد من فرص احتمال تعدد المسارات للإشارة المرسلة. كما وُجد أيضاً أن الأداء يقل بازدياد حركية المستخدم الأرضي نظراً للتأثير الملحوظ لتوسع دوبلر الناتج من حركة المستقبل. تتأثر جودة الوصلة النازلة للمنصة عالية الارتفاع أيضاً بعرض القناة، فوجد أن الأداء يقل بارتفاع معدل الخطأ بالبتات كلما زاد عرض القناة نظراً لتأثير الضوضاء على قدرة الإشارة المستلمة بارتفاع نطاق عرض القناة.

ستكون هناك مواضيع أخرى يمكن تنفيذها استكمالاً لهذا البحث كدراسة أداء للوصلة الصاعدة، إيجاد قيم عملية فعلية للمعامل (K) مقاسةً في بيئة انتشار محلية في ليبيا، ومن ثم ادماج التقنيات الحديثة كتقنيات الكشف وتعدد المداخل والمخارج الكثيف لتحسين الأداء في البيئات الغنية بالخبو لزيادة نصف قطر التغطية للمنصة عالية الارتفاع.

5. المراجع

[1] David Grace, Mihael Mohor ci , "Broadband Communications via High Altitude Platforms," John Wiley & Sons Ltd 2011.

[2] Abbas Mohammed, Asad Mehmood, Fotini-Niovi Pavlidou, Mihael Mohorcic, "The Role of High-Altitude Platforms (HAPs) in the Global Wireless Connectivity, IEEE invited paper, November 2011.

[3] Ryu Miura, Masayuki Oodo. "Wireless Communications System Using Stratospheric Platforms", Journal of the Communications Research Laboratory Vol.48 No.4, 2001.

[4] M. V´azquez-Castro, F. P´erez-Font´an, Arbesser-Rastburg, "Channel modeling for satellite and HAPS system design" John Wiley & Sons, Ltd. 2002; 2:285–300.

[5] J. G. Proakis, "Digital Communications". McGraw Hill, Singapore, Fourth edition, 2001.

[6] Iskandar, Dimas Rinarso Putro, "Performance Evaluation of Broadband WiMAX Services over High Altitude Platforms (HAPs) Communication Channel," The fourth International Conference on Wireless and Mobile Communication, IEEE confernce paper 2008.