التوصية ITU-R F.1765

منهجية تحديد القدرة المشعة المكافئة المتناحية الكلية الناتجة عن تطبيقات عالية الكثافة من نقطة إلى نقطة في الخدمة الثابتة العاملة في النطاق فوق GHz 30

(2006)

النطاق

تقدم هذه التوصية منهجيات قد تُستعمل في اشتقاق القدرة المشعة المكافئة المتناحية الكلية (a.e.i.r.p) لتطبيقات إرسال عالية الكثافة من نقطة إلى نقطة (P-P) في محطات الخدمة الثابتة (HDFS) في النطاقات فوق GHz 30 التي قد تستعملها الإدارات الراغبة في تقييم التداخل المحتمل من محطات HDFS من نقطة إلى نقطة إلى الخدمات الأخرى المتعرضة للتداخل.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن الإدارات قد تحتاج إلى وضع تقدير للقدرة المشعة المكافئة المتناحية الكلية (a.e.i.r.p) الناتجة عن نشر تطبيقات عالية الكثافة من نقطة إلى نقطة (P-P) في محطات إرسال الخدمة الثابتة (HDFS) بالنسبة إلى نقطة مركزية من أجل تقييم التداخل المحتمل من محطات HDFS من نقطة إلى نقطة إلى خدمات أخرى متضررة على أساس قطري وثنائي؛

ب) أن من شأن استعمال تحكم قدرة الإرسال الأوتوماتي (ATPC) في مرسلات P-P تخفيف القدرة المشعة الكلية؛

ج) أن من الضروري أيضاً تحديد قدرة a.e.i.r.p كدالة في زاوية الارتفاع كي يتم تقييمها، مع الأخذ بالحسبان آليات النشر للنمط (2)،

وإذ تعترف

1 أن الرقم 547.5 من لوائح الراديو يحدد النطاقات GHz 33,4-31,8 وGHz 40-37 وGHz 43,5-40,5 وGHz 52,6-51,4 وGHz 59-55,78 وGHz 66-64 بوصفها متاحة للتطبيقات عالية الكثافة في الخدمة الثابتة (HDFS)،

وإذ تلاحظ

أ) أن القرار (WRC-2000) 75 يدعو قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد إلى وضع، على نحو عاجل، الأساس التقني لتحديد منطقة التنسيق اللازمة لتنسيق محطة استقبال أرضية في خدمة البحوث الفضائية (الفضاء العميق) مع محطات إرسال HDFS في النطاقين GHz 32,3-31,8 وGHz 38-37؛

ب) أن القرار (WRC-2000) 79 يدعو قطاع الاتصالات الراديوية إلى إجراء دراسات حول مسافة التنسيق بين محطات علم الفلك الراديوي العاملة في النطاق GHz 43,5-42,5 وأنظمة HDFS،

توصي

1 أنه بالإمكان استعمال النماذج الرياضية التالية على نحو أولي لاشتقاق قدرة a.e.i.r.p لمحطات إرسال HDFS من نقطة إلى نقطة على اعتبار أن زوايا ارتفاع جميع هوائيات إرسال HDFS تساوي 0º (انظر الملاحظات 1 و2 و3 و5 و6 و9):

1.1 عندما تكون زاوية ارتفاع اتجاه قدرة a.e.i.r.p المطلوب تقييمها بمقدار 0°:

$$a.e.i.r.p. = P_t + 1.061\ (\log N_t)^2 + (-0.1164\ G_t + 6.103)$$
$$\log N_t + 0.9428\ G_t - 2.62 \text{ dBW}$$

2.1 عندما تكون زاوية ارتفاع اتجاه قدرة a.e.i.r.p المطلوب تقييمها بمقدار 2,5°:

$$a.e.i.r.p. = P_t - 0.13743\ (\log N_t)^3 + 1.8243\ (\log N_t)^2 + 1.5569 \log N_t + 0.0052917\ G_t^3$$
$$- 0.57530\ G_t^2 + 19.985\ G_t - 200.77 \text{ dBW}$$

3.1 عندما تكون زاوية ارتفاع اتجاه قدرة a.e.i.r.p المطلوب تقييمها بمقدار 5°:

$$a.e.i.r.p. = P_t + 0.54858\ (\log N_t)^2 + 5.6488 \log N_t - 0.0036218\ G_t^3 + 0.42380\ G_t^2$$
$$- 16.645\ G_t + 227.44 \text{ dBW}$$

4.1 عندما تكون زاوية ارتفاع اتجاه قدرة a.e.i.r.p المطلوب تقييمها بمقدار 10°:

$$a.e.i.r.p. = P_t + 9.086 \log N_t - 0.25\ G_t + 8.30 \text{ dBW}$$

5.1 عندما تكون زاوية ارتفاع اتجاه قدرة a.e.i.r.p المطلوب تقييمها بمقدار 15°:

$$a.e.i.r.p. = P_t + 9.344 \log N_t - 0.25\ G_t + 5.19 \text{ dBW}$$

6.1 عندما تكون زاوية ارتفاع اتجاه قدرة a.e.i.r.p المطلوب تقييمها بمقدار 20°:

$$a.e.i.r.p. = P_t + 9.522 \log N_t - 0.25\ G_t + 3.19 \text{ dBW}$$

7.1 عندما تكون زاوية ارتفاع اتجاه قدرة a.e.i.r.p المطلوب تقييمها بمقدار 25°:

$$a.e.i.r.p. = P_t + 9.663 \log N_t - 0.25\ G_t + 1.78 \text{ dBW}$$

8.1 عندما تكون زاوية ارتفاع اتجاه قدرة a.e.i.r.p المطلوب تقييمها بمقدار 30°:

$$a.e.i.r.p. = P_t + 9.775 \log N_t - 0.25\ G_t + 0.74 \text{ dBW}$$

حيث:

P_t: قدرة المرسل عند مدخل الهوائي (dBW)؛

N_t: عدد المرسلات؛

G_t: كسب الهوائي (dBi)؛

N_t: عدد المرسلات.

2 أنه يمكن استعمال النماذج الرياضية التالية بصفة مؤقتة لاشتقاق قدرة a.e.i.r.p لمحطات إرسال HDFS من نقطة إلى نقطة على افتراض أن لهوائيات إرسال المحطات المذكورة زوايا ارتفاع متغيرة في ضوء وصفها الوارد في الملحق 1 (انظر الملاحظات 1 و2 و4 و5 و6 و8 و9):

1.2 عندما تكون زاوية ارتفاع اتجاه قدرة a.e.i.r.p المطلوب تقييمها بمقدار 0°:

$$a.e.i.r.p. = P_t + 0.82096\ (\log N_t)^3 + (-0.15210\ G_t - 0.92771)\ (\log N_t)^2 + (0.024504\ G_t^2$$
$$- 1.0198\ G_t + 27.270) \log N_t - 0.077296\ G_t^2 + 5.1982\ G_t - 73.62 \text{ dBW}$$

2.2 عندما تكون زاوية ارتفاع اتجاه قدرة a.e.i.r.p المطلوب تقييمها بمقدار 2,5°:

$$a.e.i.r.p. = P_t + 0.93906\ (\log N_t)^3 + (-0.31918\ G_t + 3.4110)\ (\log N_t)^2 + (0.023524\ G_t^2 + 0.096937\ G_t - 4.8156)$$
$$\log N_t + 0.0011791\ G_t^3 - 0.21452\ G_t^2 +$$
$$8.5619\ G_t - 82.88\ \text{dBW}$$

3.2 عندما تكون زاوية ارتفاع اتجاه قدرة a.e.i.r.p المطلوب تقييمها بمقدار 5°:

$$a.e.i.r.p. = P_t + (-0.10457\ G_t + 3.0618)\ (\log N_t)^3 + (0.027889\ G_t^2 - 1.1358\ G_t + 9.7775)\ (\log N_t)^2 + (-0.15803$$
$$G_t^2 + 9.3247\ G_t - 132.36) \log N_t + 0.20619\ G_t^2 -$$
$$13.901\ G_t + 247.30\ \text{dBW}$$

4.2 عندما تكون زاوية ارتفاع اتجاه قدرة a.e.i.r.p المطلوب تقييمها بمقدار 10°:

$$a.e.i.r.p. = P_t + 9.263 \log N_t - 0.2511\ G_t + 8.43\ \text{dBW}$$

5.2 عندما تكون زاوية ارتفاع اتجاه قدرة a.e.i.r.p المطلوب تقييمها بمقدار 15°:

$$a.e.i.r.p. = P_t + 9.299 \log N_t - 0.25\ G_t + 5.45\ \text{dBW}$$

6.2 عندما تكون زاوية ارتفاع اتجاه قدرة a.e.i.r.p المطلوب تقييمها بمقدار 20°:

$$a.e.i.r.p. = P_t + 9.497 \log N_t - 0.25\ G_t + 3.32\ \text{dBW}$$

7.2 عندما تكون زاوية ارتفاع اتجاه قدرة a.e.i.r.p المطلوب تقييمها بمقدار 25°:

$$a.e.i.r.p. = P_t + 9.651 \log N_t - 0.25\ G_t + 1.84\ \text{dBW}$$

8.2 عندما تكون زاوية ارتفاع اتجاه قدرة a.e.i.r.p المطلوب تقييمها بمقدار 30°:

$$a.e.i.r.p. = P_t + 9.767 \log N_t - 0.25\ G_t + 0.79\ \text{dBW}$$؛

3 أنه بخصوص زاوية ارتفاع مختلفة لاتجاه قدرة a.e.i.r.p المطلوب تقييمها والتي لم ترد لها معادلة في فقرة *توصي* 1 أو 2، ينبغي تقدير قدرة a.e.i.r.p من خلال عملية استكمال؛

4 أنه ينبغي قياس المسافة إلى المحطة المتعرضة إلى التداخل على نحو عام من مركز منطقة انتشار محطات HDFS (انظر الملاحظة 7).

الملاحظة 1 – يصف الملحق 1 طريقة لتحديد قيم قدرة a.e.i.r.p الواردة في فقرة *توصي* 1 و2. وستكون قيم قدرة a.e.i.r.p المقابلة لزوايا ارتفاع منخفضة أو بقيمة صفر للاتجاهات المطلوب تقييمها مفيدة لتقدير التداخل عبر آليات الانتشار للنمط (1)، بينما ستكون تلك القيم المقابلة للزوايا عالية الارتفاع للاتجاهات المطلوب تقييمها مفيدة لتقدير التداخل عبر آليات انتشار النمط (2).

الملاحظة 2 – اشتُقت الصيغ الواردة في فقرة *توصي* 1 و2 بوصفها عمليات تقريبية عندما تكون G_t = 28 إلى 46 dBi وN_t = 32 إلى 192 8. ويبلغ احتمال تجاوز قدرة a.e.i.r.p للقيم الواردة في فقرة *توصي* 1 و2، 5% (أي، أن مستوى الثقة في الحسابات يبلغ 95%). كما تبلغ الأخطاء القصوى لعمليات التقريب نحو 0,5 dB على نحو نموذجي، لكنها تبلغ نحو 1 dB في بعض الحالات ذات صيغ التقريب المعقدة باستعمال معادلة متعددة الحدود من الدرجة الثالثة للقيمة G أو $\log N_t$. غير أن تحديد أكثر مستوى ثقة ملائم يتطلب مزيداً من الدراسة.

الملاحظة 3 – تستند الصيغ في فقرة *توصي* 1 إلى افتراض مفاده أن زوايا سمت هوائيات HDFS موزعة على نحو منتظم عبر 0° إلى 360° وأن زوايا ارتفاعها تبلغ 0°.

الملاحظة 4 – تستند الصيغ في *توصي* 2 على افتراض مفاده أن زوايا سمت هوائيات HDFS موزعة على نحو موحد عبر 0º إلى 360º وأن زوايا ارتفاعها مختلفة في ضوء الوصف الوارد في القسم 3.2 من الملحق 1. كما ينبغي إجراء مزيد من الدارسة لتحديد أكثر دالة توزيع احتمال ملائمةً لزوايا ارتفاع هوائي HDFS لاستعمالها في كل نطاق من نطاقات التردد.

الملاحظة 5 – قد تفرط الصيغ الواردة في *توصي* 1 و2 في تقدير قدرة a.e.i.r.p الفعلية بسبب عدم إيلاء الاعتبار إلى خسارة الجلبة المحتملة. وينبغي إجراء مزيد من الدراسات لتقييم حجم هذا العامل.

الملاحظة 6 – في حالة استعمال أنظمة HDFS لنظام التحكم ATPC، ينبغي لقيمة P_t الواردة في الصيغ *توصي* 1 و2 أن تكون بمثابة قدرة المرسل في الظروف الطبيعية حيث لا يوجد هطول الأمطار. وبالإمكان القول بشكل عام، أن التداخل إلى المحطة المتضررة سيكون أقل أهمية أثناء هطول الأمطار.

الملاحظة 7 – ستكون المسافة المحددة في *توصي* 4، على نحو عام، ملائمة لتقدير قدرة a.e.i.r.p شريطة ألا تكون المسافة بين المستقبل المتضرر ومنطقة نشر HDFS قصيرة جداً مقارنة بالمساحة الدائرية لمنطقة نشر HDFS (انظر الفقرة 3.1 من الملحق 1).

الملاحظة 8 – تتضمن التوصية ITU-R F.1498 توزيعات أخرى لزوايا ارتفاع هوائيات HDFS العاملة في مدى النطاق GHz 40-37. وينبغي إجراء مزيد من الدراسات لتوسيع هذه التوصية كي تشمل مثل هذه التوزيعات.

الملاحظة 9 – يقدم التذييل 1 من الملحق 1 الصيغ التقريبية الواردة في *توصي* 1 و2 على شكل جدول بهدف تسهيل تطبيق حاسوبي لهذه التوصية.

الملحق 1

منهجية تحديد قدرة التداخل الكلية من محطات HDFS من نقطة إلى نقطة

1 وسيلة محاكاة

1.1 المقدمة

يطلب القرار (WRC-2000) 75 وضع أساس تقني لتحديد منطقة التنسيق اللازمة للتنسيق بين المحطات الأرضية للاستقبال في خدمة البحوث الفضائية (الفضاء العميق) ومحطات الإرسال للتطبيقات عالية الكثافة في الخدمة الثابتة (HDFS)، في نطاقي التردد GHz 32,3-31,8 وGHz 38-37. وبالإضافة إلى ما تقدم، يدعو القرار (WRC-2000) 79 قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد إلى إجراء الدراسات بشأن مسافة التنسيق بين محطات علم الفلك الراديوي العاملة في النطاق GHz 43,5-42,5 وأنظمة HDFS.

وتقدم هذه التوصية منهجيات قد تستعمل في اشتقاق قدرة a.e.i.r.p لمحطات الإرسال HDFS من نقطة إلى نقطة التي قد تستعملها الإدارات الراغبة في تقييم التداخل المحتمل من المحطات المذكورة إلى الخدمات الأخرى المتعرضة إلى التداخل في مناقشاتهم القطرية والثنائية. وقد يتسنى للإدارات المهتمة بالإجابة على ما جاء في فقرة *يقرر* بالقرارين (WRC-2000) 75 و(WRC-2000) 79 استعمال المنهجيات الواردة في هذه التوصية كمنطلق لمزيد من الدراسة.

وباستعمال النطاق GHz 38 كمثال، استُعملت محاكاة شبكات HDFS من نقطة إلى نقطة لوضع نموذج رياضي يتم بموجبه تقدير قدرة التداخل الكلية المكافئة الصادرة عن هذه الشبكات. ومع ذلك، لا تعتمد نتائج الحساب على التردد. ويُعبَر عن

القدرة الكلية بدلالة عدد المرسلات وكسب الهوائيات وسويات قدرة المرسل كما وجدت أنها تتجمع (خوارزمياً) بمعدل أدنى من $10 \log N$، حيث N تساوي عدد المرسلات.

يصف هذا القسم منهجية لتقدير القدرة المشعة الكلية من توزيع HDFS من نقطة إلى نقطة باستعمال محاكاة حاسوب.

ولغرض تحديد القدرة المشعة الكلية المكافئة لمرسل منفرد عند حافة الشبكة الأقرب لمستقبل المحطة المتعرضة إلى التداخل، فقد أجريت محاكاة لمرسلات من نقطة إلى نقطة لمحطات HDFS من خلال تغيير عدد المرسلات وكسب الهوائيات وزوايا الارتفاع وزوايا سمت الهوائي. وفي هذا السياق، يُعرف إجمالي القدرة المشعة بدلالة القدرة المشعة المكافئة المتناحية الكلية (a.e.i.r.p). ولغرض هذه المحاكاة، تمثل هذه القدرة مجموع القدرات المشعة من شبكة مرسلات، موزعة على منطقة، ومُستقبلة عند نقطة بعيدة، ومصححة لخسارة مسير الفضاء الحر بين تلك النقطة وأقرب مرسل، أي:

$$\text{a.e.i.r.p} = \sum_{\text{all directions}} \text{P}\,\textit{received} + \text{L}\,\textit{fs} \quad \text{dBW}^{*} \tag{1}$$

حيث:

L_{fs}: خسارة مسير فضاء حر.

2.1 معلمات النظام

أُجري مسح شامل لأنظمة HDFS من نقطة إلى نقطة، بما في ذلك التوصية ITU-R F.758، والوثائق المقدمة إلى قطاع الاتصالات الراديوية ومن مصادر أخرى، حيث اشتُق منها مجموعة عامة من معلمات نظام استُخدمت في عمليات المحاكاة.

وقد اعتُبرت ثلاث قيم لكسب الهوائيات هي 28 و36 و44 dBi بوصفها معلمات مدخلات للنموذج. كما استعملت التوصية ITU-R F.1245 كمخطط إشعاع هوائي نموذجي. واستعملت أيضاً قدرة إرسال بمقدار 20 dBW في عمليات المحاكاة، غير أن القيمة المطلقة للقدرة غير مهمة. ولم تؤخذ تأثيرات الاستقطاب في الحسبان.

ووضعت محطات استقبال الاختبار بهوائيات متناحية ذات كسب هوائي قدره 0 dBi لكي تجمع معاً الإشارات من جميع مرسلات نقطة إلى نقطة في مواقع تبعد 50 و100 و150 كم عن حافة الشبكة.

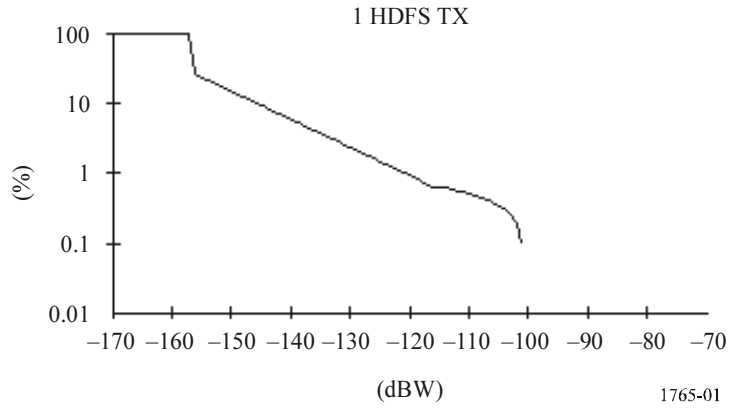
3.1 محاكاة تحليلية

أُجريت عمليات المحاكاة بأعداد مختلفة من المرسلات وبهوائيات تدور في اتجاه السمت بمعدلات مسح عشوائية 0 و1 درجة/ث، بينما وضعت زوايا السمت للبداية على نحو عشوائي أيضاً بين 0º و360º. ومن خلال إجراء اعتيان للقدرة الكلية خلال فترة الزمن، تم الحصول على التوزيعات التي تصف احتمالية تسديد الهوائيات في اتجاه محدد التي يمكنها فيما بعد توفير تقديرات لسويات قدرة أسوأ حالة لدرجة محددة من المجازفة. وأظهرت نتائج فحص سويات القدرة المستقبلة في مستقبلات الاختبار الثلاثة بمسافة 50 و100 و150 كم من حافة الشبكة، اختلافاً طفيفاً عند التصحيح لخسارة مسير الفضاء الحر. وقد وضعت مستقبلات الاختبار في مواقع باتجاه واحد فقط من الشبكة حيث تم تأمين التماثل الدائري من خلال دوران جميع هوائيات الإرسال في اتجاه السمت. كما وزعت المرسلات على نحو منتظم على منطقة دائرية بقطر 25 كم بينما كُررت بعض عمليات المحاكاة بمرسلات وزعت على مناطق دائرية بقطرين بلغا 15 و35 كم. ويظهر الشكل 1 التوزيع التراكمي لسويات القدرة من مرسل منفرد بكسب هوائي قدرة 44 dBi وبزاوية ارتفاع هوائي بقيمة 0º، كما يبيّن على نحو جلي مخطط إشعاع الهوائي، في ضوء المتوقع.

* قدرة مستقبلة من هوائي متكافئ (كسب هوائي 0 dBi).

الشكل 1

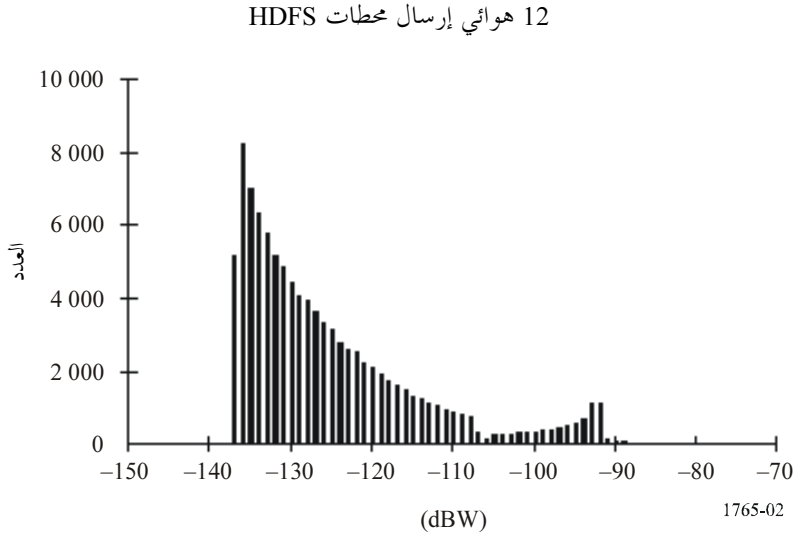
توزيع الاحتمال التراكمي للقدرة من هوائي منفرد موضوع على نحو عشوائي



وكلما زاد عدد الهوائيات، يتغير توزيع الاحتمال. ويظهر الشكل 2 التوزيع من 12 هوائياً تدور على نحو عشوائي. ويظهر الشكل نفسه أن توزيعين يكوّنان: قدرة من الفص الرئيسي لهوائي منفرد تتحد بقدرة من الفصوص الجانبية للهوائيات الأخرى في الشبكة ليوّلد سوية قدرة تبلغ نحو –90 dBW (ما يعادل نحو 68 dBW عند التصحيح لخسارة مسير فضاء حر)، بينما يتم جمع الفصوص الجانبية لجميع الهوائيات معاً لتكوّن توزيعاً أكثر انحرافاً عند سويات القدرة الأقل. وكلما زاد عدد المرسلات، تزداد كمية الذروة الصغرى هذه من الفصوص الجانبية للهوائي إلى أن تصنف في نهاية المطاف في فئة ذروة الفص الرئيسي، ويدنو التوزيع من توزيع طبيعي لوغارتمي، كما هو موضح في الأمثلة الواردة في الشكل 3.

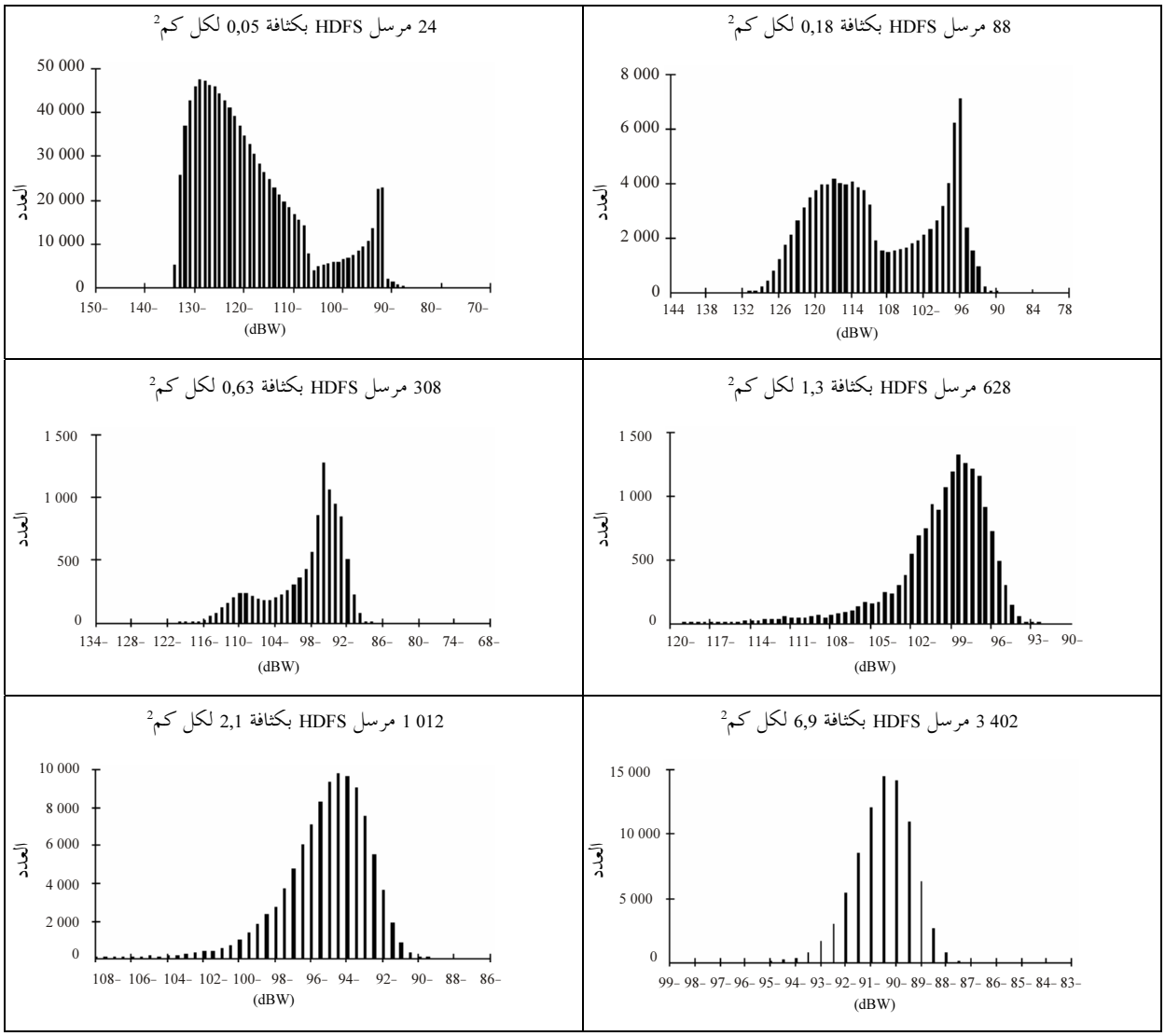
الشكل 2

توزيع سويات القدرة من 12 هوائياً موزعة في مواقع على نحو عشوائي



الشكل 3

أمثلة على توزيعات سويات القدرة من عدد متزايد من مرسلات نقطة إلى نقطة



1765-03

تم توزيع المرسلات، بأعداد مختلفة، في شبكة منتظمة وُضعت على مناطق دائرية بأقطار قدرها 25 كم، مع تكرار للمحاكاة لمناطق بأقطار 15 و35 كم.

وبغية الحصول على تقدير لسويات القدرة الكلية المتوقعة لحسابات التداخل، من المناسب دراسة أسوأ قيم التداخل المنتجة من عمليات المحاكاة، والتي، عند تصحيحها لصالح خسارة مسير الفضاء الحر، تكون مكافئة لأسوأ حالة للقدرة المشعة الكلية من شبكة المرسلات. وفي ضوء استمرار الزيادة في مقدار هذه التوزيعات إزاء استمرار المحاكاة، فإن أسوأ حالات سوية قدرة التداخل تزداد أيضاً، وقد أُجريت سلسلة مكثفة من الاختبارات لدراسة مدى استمرار زيادة قيمة أسوأ الحالات مع وقت المحاكاة. وقد اتضح بعد زيادة أولية حادة، حدوث هذه الزيادة بصورة أبطأ. وأُجريت عمليتا محاكاة بخطوات زمنية قيمتها ثانية واحدة ودقيقة واحدة، حيث لم يسفر سوى عن اختلاف طفيف بينهما بعد إجراء عدد محدد من الخطوات الزمنية. وفي

ضوء إضافة عدد أكبر من المرسلات للمحاكاة، يحدث تباطؤ كبير في سرعة المحاكاة. ويذكر أن عمليات المحاكاة المستعملة في التحليل استعملت جميعها 100 000 خطوة قيمة كل منها دقيقة واحدة لضمان تمثيل النتائج لقدر معقول من المجازفة.

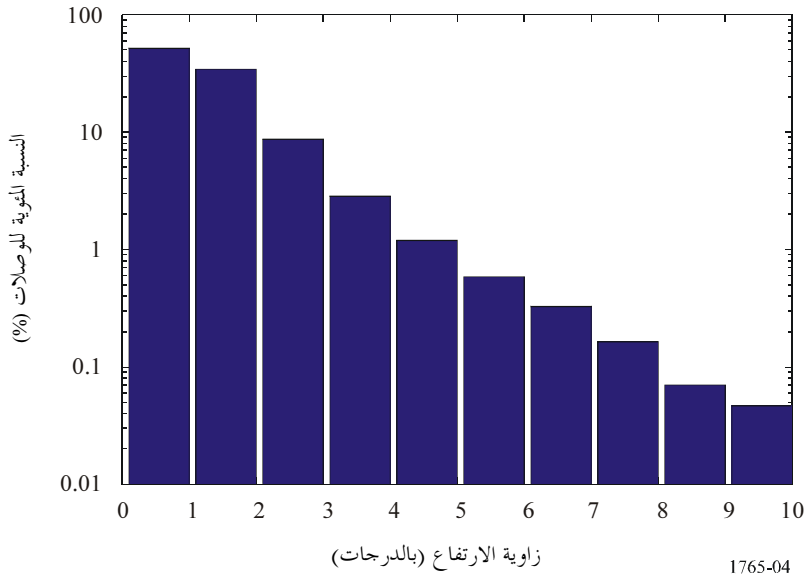
4.1 تأثيرات زوايا ارتفاع هوائي HDFS

وضع في القسم السابق افتراضاً مفاده أن قيمة جميع زوايا ارتفاع هوائي HDFS تبلغ 0º. ومع ذلك، قد تختلف قدرة a.e.i.r.p في نطاق من زوايا ارتفاع الهوائي HDFS. وعليه فقد تم تحليل توزيع زوايا ارتفاع لعدد 8 539 وصلة ثابتة في المملكة المتحدة عاملة في النطاق 38 GHz. ونتج عن هذا التحليل نسبة المرسلات في أربعة نطاقات لزوايا الارتفاع موضحة في الجدول 1، كما أُجريت عملية محاكاة أخرى مع أربع مجموعات من المرسلات في النسبة ذاتها بلغ إجماليها 1 950. وقد وضعت زاوية ارتفاع الهوائي في كل مجموعة على نحو عشوائي داخل المدى الموضح في الجدول 1.

وأُجريت المحاكاة لحالتين وُضِعت فيها زوايا الارتفاع على نحو عشوائي داخل المجموعات المدرجة في الجدول 1، وبوضع جميع زوايا الارتفاع عند القيمة صفر. وتمت مقارنة النتائج في الجدول 2 الذي يدرج القدرة المشعة الإجمالية المحسوبة.

الشكل 4

توزيع زوايا ارتفاع وصلة في النطاق 38 GHz في المملكة المتحدة
(يرجى ملاحظة المقياس الخوارزمي على المحور الرأسي)



الجدول 1

توزيع زوايا ارتفاع هوائي

نطاق زاوية الارتفاع (درجات)	النسبة المئوية لوصلات نطاق 38 GHz في نطاق الزاوية، من الشكل 4	عدد المرسلات في كل مجموعة من مجموعات المحاكاة
1-0	51,7	1 012
2-1	34,4	665
5-2	12,7	249
10-5	1,2	24

الجدول 2

كسب الهوائي (dBi)	قدرة a.e.i.r.p. (dBW)		الاختلاف (dB)
	زاوية ارتفاع متغيرة	زاوية ارتفاع صفر	
28	64,9	65,4	0,5
36	68,9	70,1	1,2
44	73,3	75,2	1,9

ويذكر أنه لا يوجد اختلاف هام بين هذه النتائج بالنسبة للتوزيع الواقعي لزوايا الارتفاع موضوع البحث. ومع ذلك، ينبغي ملاحظة أن الجدول 2 يبيّن الحالة التي قُيّمت فيها قدرة a.e.i.r.p. باتجاه الأفق (0º). ويناقش القسم 2 الحالات التي كانت فيها قدرة a.e.i.r.p. نحو الاتجاهات ذات زوايا ارتفاع أعلى من 0º. وفي هذه الحالات، قد تعتمد الاختلافات بين حالة زاوية ارتفاع متغيرة وحالة زاوية ارتفاع صفر بشكل كبير على كسب هوائي HDFS.

وتم الحصول على النتائج أعلاه من شبكات مرسلات محطات HDFS من نقطة إلى نقطة الموزعة على منطقة دائرية بقطر 25 كم. كما كُررت تجارب المحاكاة لمنطقتين بقطر 15 و35 كم بقصد دراسة الاعتماد على كثافة الوصلة.

وقد وُجد اختلاف طفيف جداً بين القدرة المشعة الكلية عند توزيع المرسلات على مناطق مختلفة، على الأقل بين المنطقتين اللتين يبلغ قطرهما 15 و35 كم. ولا تعتمد سويات القدرة أساساً على المساحة التي تنتشر فوقها المرسلات، حيث يكون الاختلاف في حدود ±0,5 dB. واستناداً إلى ما تقدم، لا يُعد ضرورياً ضم المساحة بوصفها معلمة في نموذج القدرة a.e.i.r.p. من مرسلات محطات HDFS من نقطة إلى نقطة.

2 حسابات نظرية بواسطة تكامل التلافيف

1.2 طريقة عامة للتحليل ومستوى ثقة الحسابات

وصفَ الجزء السابق طريقة محاكاة لحساب قدرة a.e.i.r.p. من عدد من مرسلات محطات HDFS. ومع ذلك، قد يكون من المفيد الإشارة إلى أن طريقة المحاكاة، على وجه العموم، تستهلك وقتاً طويلاً للتوصل إلى نتائج يمكن الوثوق بها مما يستوجب تجنبه في حالة توفر طرق أخرى وأنه لا يمكن إجراء التحديد الكمي للأخطاء الحسابية المتضمنة في النتائج على نحو دقيق، وخاصة، نسبة مئوية صغيرة يتم فيها تجاوز هذه القيم.

والحقيقة، تعد المسألة مشكلة رياضية خالصة تكون فيها دالة كثافة الاحتمال (pdf) للقدرة المشعة الكلية من عدد مرسلات HDFS تقتضي الدراسة. وتفيد النظرية أنه بالإمكان الحصول على دالة pdf تحليلياً على النحو التالي:

بافتراض أن $p(N_t, x)$ هي دالة pdf للقدرة المشعة الكلية، وأن x (يُعبر عنها بقيمة رقمية)، عدد N_t من مرسلات، ويمكن حساب دالة pdf لقدرة a.e.i.r.p من مرسلات $N_t + M_t$ باستخدام تكامل التلافيف على النحو التالي:

$$p(M_t+N_t,x)=\int_0^x p(M_t,u)\cdot p(N_t,x-u)\cdot \mathrm{d}u \qquad (2)$$

وتفترض المعادلة (2) توزيع زاوية السمت لكل مرسل على نحو عشوائي خلال 0º–360º وأن بالإمكان إهمال بعض الاختلافات في مواقع مرسلات HDFS في منطقة الانتشار. ومن خلال تكرار عملية تكامل التلافيف، بالإمكان حساب دالة pdf لأي عدد من المرسلات. وفي الحسابات الفعلية، تم اختيار القيمة M_t بحيث تساوي للقيمة N_t، كما حُسبت دالة pdf للقيمة N_t = 1، 2، 4، 8، 16، ...، 32 768 مرسلاً.

وعندما تكون N_t = 1، ينبغي أن نفترض أولاً بأن زاوية الارتفاع وزاوية السمت لهوائي إرسال محطة HDFS هما ε_f وα_f، على التوالي. وستسمى زاوية الارتفاع، وزاوية السمت لاتجاه التداخل الذي سيتم تقييمه ε_u وα_u، على التوالي. وفي هذه الحالة يمكن حساب زاوية الفصل، φ، بين اتجاه هوائي HDFS واتجاه التداخل الذي سيتم تقييمه بالمعادلة التالية:

$$\varphi = \arccos\left(\cos\varepsilon_f \cdot \cos\varepsilon_u \cdot \cos(\alpha_f - \alpha_u) + \sin\varepsilon_f \cdot \sin\varepsilon_u\right) \quad (3)$$

ومن دون خسارة العموميات، من الممكن الافتراض بأن α_u = 0 وأن ε_u هي قيمة محددة (0 أو قيمة موجبة). بالإضافة إلى ما تقدم، يمكن الافتراض بأن توزيع القيمة α_f يكون على نحو منتظم خلال 0º ~ 360º. ويجب تحديد توزيع القيمة ε_f وهو الأمر الذي سيناقش بتفصيل أكبر في الأقسام اللاحقة.

إذا حُددت القيمة φ بالمعادلة (3)، سيحسب كسب هوائي HDFS نحو اتجاه التداخل الذي سيتم تقييمه وفقاً لمخطط إشعاع الهوائي المحدد في التوصية ITU-R F.1245. وعليه، بالإمكان تحديد دالة pdf لقدرة a.e.i.r.p. للقيمة N_t = 1.

وبالنسبة للقيمة N_t = 2، من الممكن حساب دالة pdf (خطوة قدرها 0,01 dB) وفقاً للمعادلة (2). وبالإمكان تكرار ذلك بالنسبة لقيم N_t = 4، 8، 16، ...، 768 32.

وبوجه عام، استعمل لأغراض هذه الدراسة سوية ثقة قدره 95%، مما يعني أن احتمال تجاوز قدرة a.e.i.r.p لنتائج الحساب هو طفيف ويبلغ 5º. وبالإضافة إلى ما تقدم، ترد بعض النتائج، مثل الجدول 3b)، لمستوى ثقة قدره 99,9º.

2.2 حالة هوائيات HDFS بزاوية ارتفاع صفر

في هذه الحالة، يفترض أن زوايا الارتفاع لجميع هوائيات HDFS تساوي 0º (ε_f = 0 لجميع هوائيات HDFS). وبالنسبة للقيمة N_t = 1، قسِّم نطاق السمت البالغ 180º إلى 10 000 جزء. وبذلك، حُسبت احتمالية كل فاصل قدره 0,01 dB. وبما أن سوية قدرة المرسل هي عامل غير مهم، فقد افتُرضت بأن تكون بقيمة 0 dBW.

وبشأن القيمة N_t الأكبر من 1، حُسبت دالة pdf وفقاً للمعادلة (2). ويظهر الشكل 5a النتائج عندما يكون G_t = 28 dB وε_u = 0، 2,5، 5، 10، 15، 20 درجة. أما الشكل 5b) فيوضح الحالة عندما يكون G_t = 44 dB. وقد افترض أن القيمة P_t *تساوي* 0 dBW في جميع الحالات.

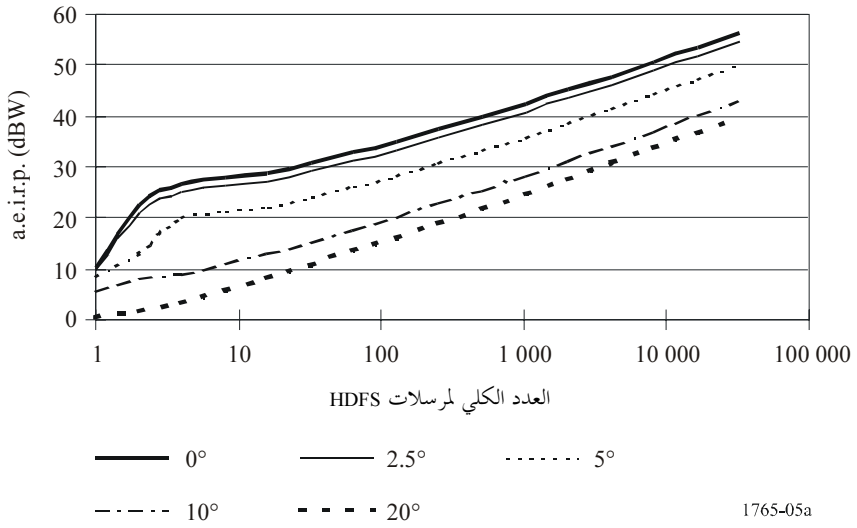
كما يلاحظ في الشكل 5a، أن الاختلاف بين المنحنيات ε_u = 0º وε_u = 2,5º ضئيل جداً لأن عرض حزمة الهوائي ذي الكسب البالغ 28 dBi يبلغ 6,7º بينما يكون الفرق في الشكل 5b بين المنحنيات ε_u = 0º وε_u = 2,5º كبير جداً لأن عرض حزمة الهوائي ذي الكسب البالغ 44 dBi صغير جداً إذ يبلغ 1,1º.

ويلاحظ أيضاً في الشكل 5b، أنه عندما يكون ε_u = 0º، فإن زيادة قدرة a.e.i.r.p تكون سريعة بالنسبة لعدد صغير من مرسلات HDFS. وتصبح أبطأ عند عدد أكبر من مرسلات HDFS. وترد قيم قدرة a.e.i.r.p (dBW) كدالة في G_t (dBi) وعدد مرسلات HDFS (N_t) في الجدول 3a للحالة ε_u = 0º عند مستوى ثقة قدره 95%.

أما الجدول 3b فيظهر النتائج عند مستوى ثقة قدره 99,9%.

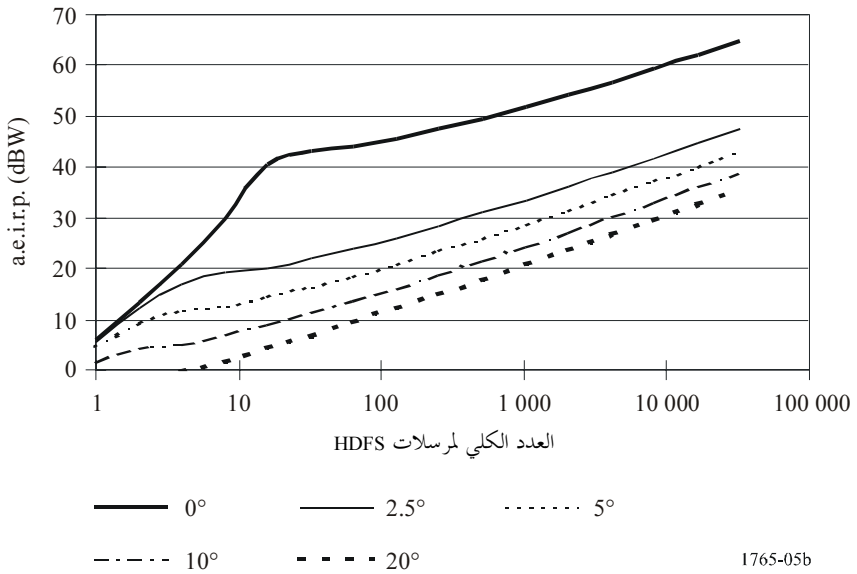
الشكل 5a

قدرة a.e.i.r.p باتجاه زوايا ارتفاع مختلفة كدالة في العدد الكلي لمرسلات HDFS
(G_t = 28 dB بينما تساوي جميع زوايا ارتفاع الهوائيات HDFS 0°)



الشكل 5b

قدرة a.e.i.r.p باتجاه زوايا ارتفاع مختلفة كدالة في العدد الكلي لمرسلات HDFS
(G_t = 44 dB بينما تساوي جميع زوايا ارتفاع الهوائيات HDFS 0°)



الجدول 3a

قدرة a.e.i.r.p بوحدات dBW كدالة في G_t (dBi) وعدد المرسلات (N_t)
(مستوى ثقة يبلغ 95%)

قدرة a.e.i.r.p بوحدات dBW لأعداد مختلفة من مرسلات HDFS (N_t = 32 ~ 32 768)											G_t (dB)
32 768	16 384	8 192	4 096	2 048	1024	512	256	128	64	32	
56,46	53,54	50,66	47,82	45,04	42,34	39,75	37,29	34,97	32,81	30,86	28
57,49	54,58	51,72	48,89	46,14	43,47	40,92	38,51	36,25	34,18	32,35	30
58,52	55,62	52,76	49,96	47,24	44,61	43,11	39,74	37,54	35,49	33,69	32
59,55	56,67	53,83	51,05	48,36	45,77	43,31	41,00	38,84	36,89	34,89	34
60,59	57,72	54,90	52,15	49,49	46,94	44,53	42,27	40,20	38,38	36,10	36
61,63	58,78	55,98	53,26	50,63	48,13	45,76	43,56	41,51	39,72	37,98	38
62,68	59,84	57,07	54,38	51,79	49,33	47,01	44,86	42,90	40,92	39,84	40
63,73	60,91	58,16	55,50	52,96	50,54	48,29	46,22	44,39	42,12	41,62	42
64,79	61,99	59,27	56,65	54,14	51,78	49,58	47,53	45,74	43,98	43,24	44
65,86	63,08	60,39	57,80	55,34	53,03	50,88	48,92	46,94	45,85	44,72	46

الجدول 3b

قدرة a.e.i.r.p بوحدات dBW كدالة G_t (dB) وعدد المرسلات (N_t)
(مستوى ثقة يبلغ 99,9%)

قدرة a.e.i.r.p بوحدات dBW لأعداد مختلفة من المرسلات (N_t = 32 ~ 32 768)											G_t (dB)
32 768	16 384	8 192	4 096	2 048	1 024	512	256	128	64	32	
56,65	53,81	51,02	48,31	45,71	43,24	40,92	38,79	36,85	35,11	33,59	28
57,70	54,87	52,11	49,44	46,88	44,46	42,20	40,13	38,26	36,60	35,13	30
58,76	55,95	53,22	50,58	48,06	45,70	43,50	41,50	39,70	38,10	36,67	32
59,82	57,03	54,33	51,73	49,26	46,95	44,82	42,89	41,16	39,64	38,34	34
60,89	58,13	55,46	52,90	50,48	48,23	46,16	44,30	42,64	41,18	39,94	36
61,96	59,23	56,60	54,08	51,72	49,52	47,53	45,73	44,14	42,71	41,44	38
63,05	60,35	57,75	55,28	52,97	50,84	48,91	47,19	45,67	44,37	43,00	40
64,14	61,47	58,91	56,50	54,25	52,18	50,32	48,67	47,21	45,98	44,85	42
65,24	62,61	60,10	57,73	55,54	53,54	51,75	50,16	48,73	47,48	46,66	44

بُذلت محاولة لإيجاد صيغة ملائمة لتقريب قيّم قدرة a.e.i.r.p في الجدول 3a باستعمال طريقة التقريب الأدنى–الأقصى لمتغيرين، والصيغة التالية التي اشتُقت بوصفها تقريب معقول لكل من G_t = 28 إلى 46 dB وN_t = 32 إلى 192 8:

$$a.e.i.r.p. = P_t + 1.061\,(\log N_t)^2 + (-0.1164\,G_t + 6.103)\log N_t + 0.9428\,G_t - 2.62 \quad \text{dBW} \tag{4}$$

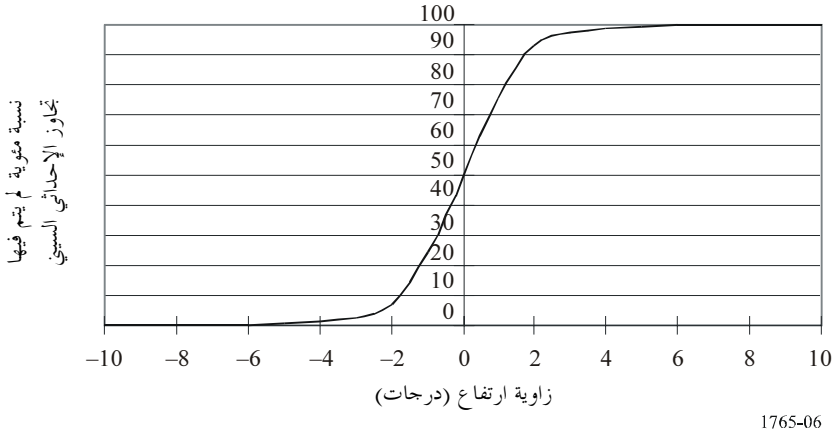
هذه هي الصيغة التي عرضت في فقرة *توصي* 1.1 من النص الرئيسي. ويبلغ الحد الأقصى لخطأ التقريب بهذه الصيغة 0,52 dB. كما تم تطبيق طريقة التقريب ذاتها على قيم أخرى قدرها ε_u كما اشتُقت الصيغ الواردة في *توصي* 1,2 ~ 1,8 من النص الرئيسي. وعندما تكون ε_u = 2,5º أو 5º، تكون المنحنيات أكثر تعقيداً، وعليه، تتطلب صيغ تقريب معادلات متعددة الحدود بدرجة أعلى.

3.2 حالة هوائيات HDFS بزوايا ارتفاع متغيرة

يُعد افتراض زاوية الارتفاع بقيمة صفر الذي تم تبنيه في القسم السابق نوعاً ما نظرياً. فسيكون لهوائيات HDFS زوايا ارتفاع متغيرة، في الأوضاع الفعلية. ومع ذلك، تُعد مسألة وضع دالة pdf نموذجية لزوايا الارتفاع مسألة معقدة. وفي التحليل الوارد هنا، سيستعمل الشكل 4 كمثال دالة pdf لزوايا ارتفاع هوائيات HDFS. ولكن ينبغي ملاحظة أن جميع زوايا الارتفاع في الشكل 4 تبلغ 0 أو قيمة إيجابية. وفي الواقع، من المعقول الافتراض بأن زوايا الارتفاع قد تكون موجبة أو سالبة، وأن دالة pdf هي متماثلة بالنسبة لزوايا الارتفاع 0. وعليه فقد حُولت دالة pdf في الشكل 4 إلى توزيع تماثلي كما هو موضح في الشكل 6 والجدول 4.

الشكل 6

منحنى التوزيع التراكمي لزوايا ارتفاع هوائيات HDFS المقابلة للشكل 4



الجدول 4

توزيع تراكمي لزوايا ارتفاع هوائيات HDFS المقابلة للشكل 4

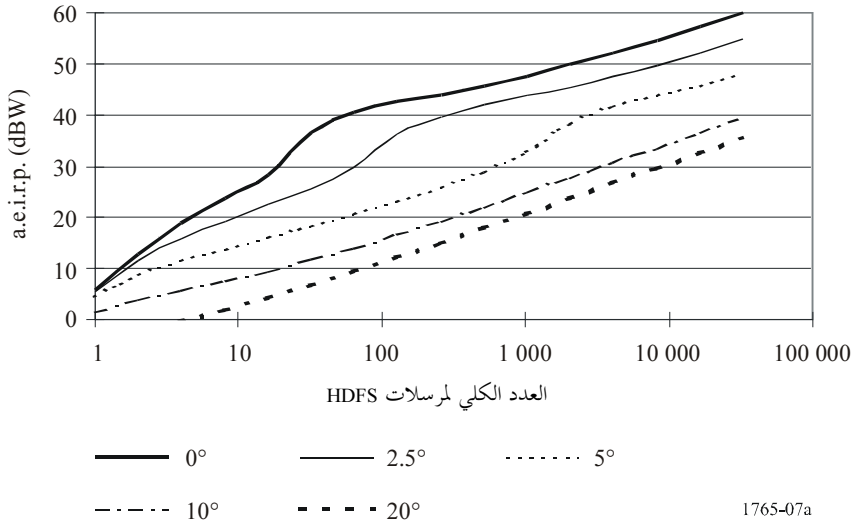
الدرجات	10–	9–	8–	7–	6–	5–	4–	3–	2–	1–	0
النسبة المئوية	0	0,023	0,06	0,145	0,31	0,6	1,2	2,7	6,95	24,15	50

الدرجات	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
النسبة المئوية	75,85	93,05	97,3	98,8	99,4	99,69	99,855	99,94	99,977	100

حُسبت دالة pdf لقدرة a.e.i.r.p. بموجب هذا الافتراض عندما N_t = 1. وبخصوص قيم Nt الأكبر، فقد حُسبت دالات pdf وفقاً للمعادلة (2). وترد النتائج في الشكل 7a و7b. ويُفترض أن تساوي قيمة P_t 0 dBW في جميع الحالات.

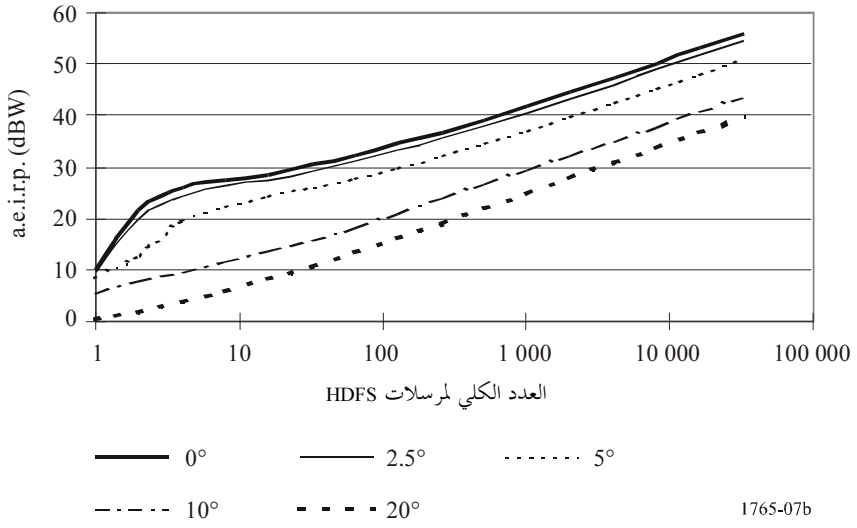
الشكل 7a

قدرة a.e.i.r.p. في اتجاه زوايا ارتفاع مختلفة كدالة في العدد الكلي لمرسلات HDFS
(وزوايا ارتفاع متغيرة للهوائيات HDFS وG_t = 28 dB)



الشكل 7b

قدرة a.e.i.r.p. باتجاه زوايا ارتفاع مختلفة كدالة في العدد الكلي لمرسلات HDFS
(مع زوايا ارتفاع متغيرة للهوائيات HDFS وG_t = 44 dB)



إذا ما أُجريت مقارنة بين الشكلين 5a و7a، سيتضح أن الاختلافات طفيفة جداً، مما سيعني أنه عندما يكون كسب هوائي HDFS صغيراً، فإن افتراض زوايا ارتفاع متغيرة سيحدث تأثيرات طفيفة على قدرة a.e.i.r.p وذلك لأن عرض حزمة الهوائي عريض بما فيه الكفاية. ومن جهة أخرى، فإن الاختلافات بين الشكلين 5b و7b واسعة لأن عرض حزمة الهوائي صغير جداً. وتشير هذه النتيجة إلى أن تأثيرات زوايا ارتفاع متغيرة تختلف تبعاً لكسب هوائي HDFS.

واشتُق عدد من صيغ التقريب لنطاق القيم G_t = من 28 إلى 46 dBi وN_t = 32 ~ 192 8 عند قيم ε_u مختلفة. وترد النتائج في فقرة *توصي* 2 من النص الرئيسي. كما يمكن ملاحظة أنه عندما ε_u = 0º أو 2,5º أو 5º، تكون المنحنيات معقدة وعليه تتطلب درجة أعلى من المعادلات متعددة الحدود كي ينتج عنها تقريب جيد.

3 مقارنة بين المحاكاة التحليلية والاحتمالية

أُجريت محاكاة لمقارنة النتائج التي تم التوصل إليها في القسم 2. واستندت هذه المحاكاة إلى خلية مربعة طول ضلعها 1 كم بكثافة محددة (تعادل العدد في هذه الحالة) لمرسلات (UT) لمحطات HDFS دون أي تحكم بالقدرة، وكسب هوائي أقصى قدره 44 dBi مع مخطط هوائي بموجب التوصية ITU-R F.1245 وزاوية ارتفاع بقيمة 0º ومستقبل موضوع بزاوية سمت عشوائية بالنسبة إلى الخلية HDFS ومسافة 100 كم، مع كسب هوائي بقيمة 0 dBi.

وفي هذه الحالة، يمكن الحصول على قيمة القدرة الواردة إلى المُستقبل من المعادلة (5).

$$P_r = AEIRP + 20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) \quad (5)$$

حيث:

P_r: القدرة التي تم استقبالها عند هوائي بكسب 0 dBi يقع عند مسافة d من خلية HFDS (dBW)

$AEIRP$: قدرة e.i.r.p الكلية التي تنتجها مرسلات (UT) للخلية (dBW)

λ: طول الموجة (m)

d: المسافة بين الخلية وهوائي الكسب 0 dBi حيث تُقيّم القدرة (m).

ويمكن الحصول على قيمة P_r لمرسل منفرد (UT) من المعادلة (6).

$$P_r = P_e + G_e + 20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) \quad (6)$$

حيث:

P_r: القدرة التي تم استقبالها عند هوائي بكسب 0 dBi يقع عند مسافة d من خلية (dBW) لمحطة HDFS

P_e: قدرة البث المنتجة من قبل المرسل المنفرد (UT) للخلية (dBW)

G_e: كسب هوائي المرسل UT باتجاه المستقبل ذي الكسب البالغ 0 dBi

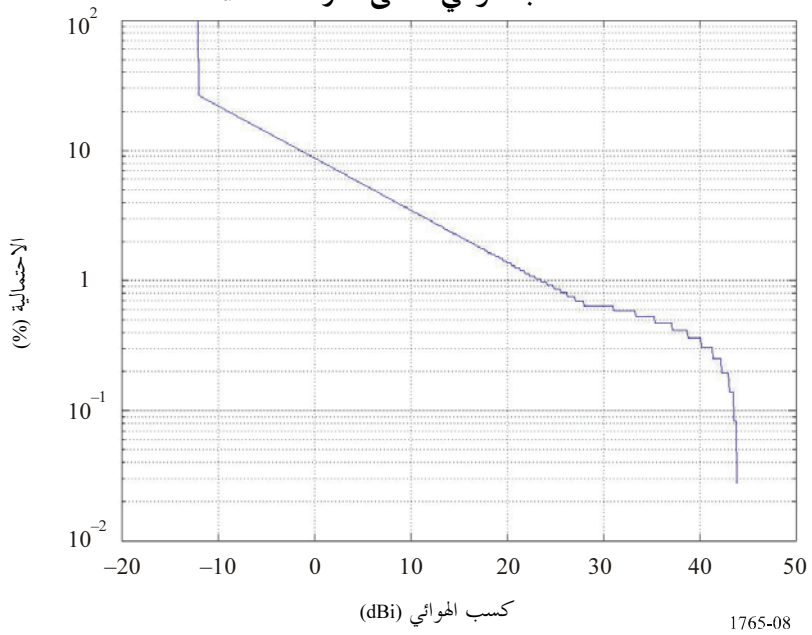
λ: طول الموجة (m)

d: المسافة بين الخلية وبين هوائي 0 dBi حيث تُقيّم القدرة (m).

يُعد كسب الهوائي المتغير الوحيد ويختلف بين −12 و44 dBi وفقاً لزاوية السمت تبعاً لمنحنى دالة التوزيع التراكمي cdf الوارد في الشكل 8.

الشكل 8

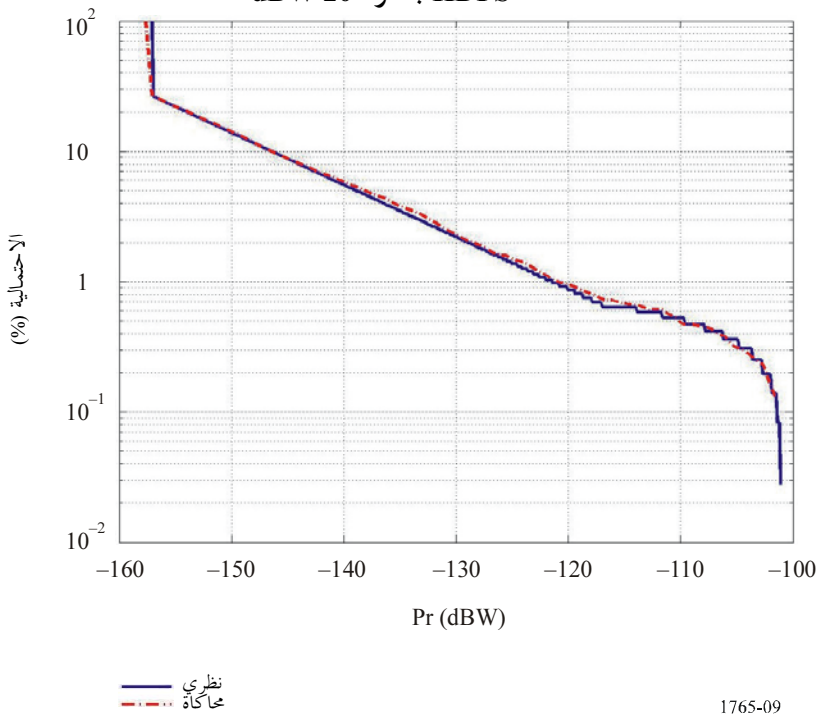
دالة توزيع تراكمي لكسب هوائي حسب التوصية ITU-R F.1245 لكسب هوائي أقصى قدره 44 dBi



وعليه ترد القدرة النظرية التي استُقبلت من المستقبل ذي كسب 0 dBi في الشكل 9، بالإضافة إلى القدرة المتحصلة من مرسل HDFS منفرد.

الشكل 9

القدرة المُستقبلة عند هوائي بكسب 0 dBi واقع على بعد 100 كم من مرسل UT لمحطة HDFS بقدرة 20 dBW



إذا ما افترض هذه المرة قدرة بث قدرها 0 dBW لجميع مرسلات UT، من الممكن مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من خلال المحاكاة التحليلية الوارد ذكرها في الفقرة 2 من هذا الملحق وتلك التي تم الحصول عليها من خلال النهج الاحتمالي، لمستوى ثقة يبلغ 95% محسوبة خلال 10 000 تجربة (انظر الجدول 3a).

الجدول 5

كسب هوائي أقصى لمحطات HDFS قدره 44 dBi

	قدرة a.e.i.r.p. (dBW) لأعداد مختلفة من مرسلات HDFS (N_t = 32 إلى 2 048)						
	32	64	128	256	512	1 024	2 048
محاكاة تحليلية	43,24	43,98	45,74	47,53	49,58	51,78	54,14
محاكاة احتمالية	43,33	43,94	45,73	47,37	49,59	51,81	54,19

الجدول 6

كسب هوائي أقصى لمحطات HDFS بمقدار 28 dBi

	قدرة a.e.i.r.p. (dBW) لأعداد مختلفة من مرسلات HDFS (N_t = 32 إلى 2 048)						
	32	64	128	256	512	1 024	2 048
محاكاة تحليلية	30,86	32,81	34,97	37,29	39,75	42,34	45,04
محاكاة احتمالية	30,84	32,78	34,97	37,28	39,74	42,37	45,04

تظهر مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من خلال الطريقة التحليلية والاحتمالية توافقاً جيداً بينهما.

التذييل 1
للملحق 1

صيغ التقريب لقدرة a.e.i.r.p.

يتناول هذا التذييل الصيغ التقريبية لما جاء في فقرتي *توصي* 1 و2 من هذه التوصية في صورة جدولية بهدف تسهيل التنفيذ بالحاسوب.

الصيغ في فقرة *توصي* 1 (زوايا الارتفاع لجميع هوائيات HDFS هي بقيمة 0º)

وتكون زاوية ارتفاع باتجاه القدرة a.e.i.r.p. المقرر تقييمها بمقدار: 0º و2,5º و5º:

$$a.e.i.r.p. = P_t + a_{30} (\log N_t)^3 + a_{20} (\log N_t)^2 + (a_{11} G_t + a_{10}) \log N_t$$
$$+ a_{03} G_t^3 + a_{02} G_t^2 + A_{01} G_t + a_{00}$$

الجدول 7a

a_{00}	a_{01}	a_{02}	a_{03}	a_{10}	a_{11}	a_{20}	a_{30}	زاوية الارتفاع المقرر تقييمها (درجات)
2,62–	0,9428	0	0	6,103	0,1164–	1,061	0	0
200,77–	19,985	0,57530–	0,0052917	1,5569	0	1,8243	0,13743–	2,5
227,44	16,645–	0,42380	0,0036218–	5,6488	0	0,54858	0	5

عندما تكون زاوية ارتفاع اتجاه قدرة a.e.i.r.p. التي ستخضع للتقييم: 10º أو 15º أو 20º أو 25º أو 30º:

$$a.e.i.r.p. = P_t + a_{10} \log N_t + a_{01} G_t + a_{00}$$

الجدول 7b

a_{00}	a_{01}	a_{10}	زاوية الارتفاع المقرر تقييمها (درجات)
8,30	0,25–	9,086	10
5,19	0,25–	9,344	15
3,19	0,25–	9,522	20
1,78	0,25–	9,633	25
0,74	0,25–	9,775	30

الصيغ الواردة في *توصي* 2 (تعد زوايا ارتفاع جميع هوائيات HDFS متغيرة)

عندما تكون زاوية ارتفاع اتجاه قدرة a.e.i.r.p. الخاضعة للتقييم: 0º أو 2,5º أو 5º:

$$a.e.i.r.p. = P_t + (a_{31} G_t + a_{30}) (\log N_t)^3 + (a_{22} G_t^2 + a_{21} G_t + a_{20}) (\log N_t)^2$$
$$+ (a_{12} G_t^2 + a_{11} G_t + a_{10}) \log N_t + a_{03} G_t^3 + a_{02} G_t^2 + a_{01} G_t + a_{00}$$

الجدول 8a

a_{12}	a_{20}	a_{21}	a_{22}	a_{30}	a_{31}	زاوية الارتفاع المقرر تقييمها (درجات)
0,024504	0,92771	0,15210–	0	0,82096	0	0
0,023524	3,4110	0,31918–	0	0,93906	0	2,5
0,15803–	9,7775	1,1358–	0,027889	3,0618	0,10457–	5

a_{00}	a_{01}	a_{02}	a_{03}	a_{10}	a_{11}	زاوية الارتفاع المقرر تقييمها (درجات)
73,62–	5,1982	0,077296–	0	27,270	1,0198–	0
82,88–	8,5619	0,21452–	0,0011791	4,8156–	0,096937	2,5
247,30	13,901–	0,20619	0	132,36–	9,3247	5

عندما تكون زاوية ارتفاع اتجاه قدرة .a.e.i.r.p: 10º أو 15º أو 20º أو 25º أو 30º:

$$a.e.i.r.p. = P_t + a_{10} \log N_t + a_{01} G_t + a_{00}$$

الجدول 8B

a_{00}	a_{01}	a_{10}	زاوية الارتفاع المقرر تقييمها (درجات)
8,43	0,2511–	9,263	10
5,45	0,25–	9,299	15
3,32	0,25–	9,497	20
1,84	0,25–	9,651	25
0,79	0,25–	9,767	30