التوصية ITU-R M.1641-1*

منهجية تقييم تداخل القنوات المشتركة لتحديد مسافة المباعدة بين نظام يستعمل محطات منصة عالية الارتفاع (HAPS) ونظام خلوي يقدم خدمة الاتصالات المتنقلة الدولية-2000 (IMT-2000)

(2006-2003)

مجال النطاق

تحتوي هذه التوصية على منهجية تتعلق بتقييم تداخل القنوات المشتركة ومسافة المباعدة بين نظام يستعمل محطات منصة عالية الارتفاع (HAPS) كمحطة قاعدة للخدمة IMT-2000 ونظام خلوي للأرض مقام على أبراج، يقدم الخدمة IMT-2000.

ويصف الملحق 1 منهجية تقييم تداخل القنوات المشتركة والذي تسببه محطة قاعدة HAPS ومحطات قاعدة خلوية في محطة متنقلة خلوية تقدم خدمة IMT-2000. وتُستعمل النسبة *C/I* كمعيار لتحديد مسافة المباعدة بين نظام HAPS ونظام خلوي. ولتقييم التداخل داخل نظام خلوي، تُطبق صيغة مكبّرة مبسطة من نموذج هاتا (Hata). ويحتوي الملحق 2 على مثال على حساب مسافة المباعدة بين نظام HAPS ونظام خلوي.

ويحتوي التذييلان 1 و2 على المعادلات التي تتعلق بحساب التداخل المستعمل في كل من الملحق 1 ومخطط إشعاع الهوائي على التوالي.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أنه يجري تطوير تكنولوجيات جديدة تستعمل محطات منصة عالية الارتفاع (HAPS) في الستراتوسفير؛

ب) أن المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية لعام 2000 (WRC-2000) منح محطات HAPS التي تقدم خدمات IMT-2000 توزيعات داخل النطاقات 885 1 - 980 1 MHz، 010 2 - 025 2 MHz و 110 2 - 170 2 MHz في الإقليمين 1 و3، وفي النطاقين 885 1 - 980 1 MHz و010 2 - 160 2 MHz في الإقليم 2؛

ج) أن القرار رقم 221 الصادر عن المؤتمر WRC-2003 طلب إعداد دراسات بشأن التقاسم بين محطات HAPS وغيرها من المحطات داخل الخدمة IMT-2000، ونظر في مواءمة محطات HAPS في الخدمة IMT-2000 مع بعض الخدمات الأخرى التي تملك توزيعات في النطاقات المجاورة؛

د) أنه وفقاً للرقم 388A.5 من لوائح الراديو (RR)، يمكن للمحطات HAPS أن تُستعمل كمحطات قاعدة في مكونة IMT-2000 الأرضية في النطاقات 885 1 - 980 1 MHz، 010 2 - 025 2 MHz و010 2 - 170 2 MHz في الإقليمين 1 و3 وفي النطاقين 885 1 - 980 1 MHz و010 2 - 160 2 MHz في الإقليم 2؛ واستعمال تطبيقات IMT-2000 التي ترتكز على محطات HAPS كمحطات قاعدة، لا يستبعد استعمال هذه النطاقات من طرف أي محطة في الخدمات المخصصة لها ولا يحدد أي أولوية في لوائح الراديو.

---

*ينبغي أن ترفع هذه التوصية إلى عناية لجنة الدراسات والتابعة للاتصالات الراديوية.

توصي

1 باستعمال المنهجية المحددة في الملحق 1 لتحديد مسافة المباعدة بين أنظمة HAPS والأنظمة الخلوية التي تقدم الخدمة IMT-2000، في نطاقات الترددات التي تشير إليها النقطة ب) من الفقرة *"إذ تضع في اعتبارها"* أعلاه.

الملاحظة 1 - ينبغي أن تُتخذ التوصية ITU-R M.1456 كمرجع فيما يتعلق بالمعلمات النمطية للأنظمة HAPS بخصوص دراسات التقاسم بين الأنظمة HAPS التي تقدم خدمة IMT-2000 والخدمة الخلوية في نطاقات الترددات التي تشير إليها النقطة ب) من الفقرة *"إذ تضع في اعتبارها"* أعلاه.

الملحق 1

منهجية تقييم تداخل القنوات المشتركة لتحديد مسافة المباعدة بين نظام يستعمل محطات HAPS ونظام خلوي يقدم الخدمة IMT-2000

1 المقدمة

تشير التوصية ITU-R M.1456 إلى حد كثافة تدفق القدرة الطيفية (spfd) فيما يتعلق بالقنوات المشتركة التي يمكن تطبيقها في إرسالات HAPS وإلى حدود spfd خارج النطاق المطبقة على إرسالات HAPS عند سطح الأرض، فضلاً عن متطلبات أداء HAPS التي ينبغي احترامها لحماية المحطات المتنقلة للأرض والمحطات الثابتة العاملة في النطاقات المجاورة للإرسالات الصادرة عن أنظمة HAPS.

غير أنه ينبغي، من أجل تصميم نظام خلوي، الأخذ بعين الاعتبار التداخل الذي يعانيه عديد من مستعملي النظام وكذلك التداخلات التي تسببها الخدمات الأخرى؛ وتخضع الفعالية الطيفية إلى التداخل المتأتي من الخلية نفسها أو من خلايا مجاورة.

وتحتوي هذه التوصية على مبادئ توجيهية، لتقييم آثار تداخل القنوات المشتركة الذي يتعرض له نظام IMT-2000 خلوي أرضي يقدم الخدمة IMT-2000، مُقام على أبراج، من نظام HAPS IMT-2000 وذلك في حالة نوعين من التداخل: التداخل المتأتي من الخلية نفسها أو من خلايا مجاورة في النظام الخلوي نفسه، والتداخل المتأتي من HAPS IMT-2000. ونظراً إلى أن التداخل الذي يسببه نظام HAPS IMT-2000 يستند إلى مخطط إشعاع الهوائي HAPS الذي ورد وصفه في التوصية ITU-R M.1456، يُستعمل هذا المخطط لتقييم قدرة التداخل المناسبة للأنظمة الخلوية بحيث يمكن اشتقاق قدرة التداخل الإجمالية. ويُقدر التداخل الذي تتعرض إليه محطة متنقلة خلوية بسبب محطات قاعدة خلوية ومحطة قاعدة HAPS، من حيث نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء (C/I)، استناداً إلى معلمات نظام HAPS، مثل عدد المستعملين في كل خلية، ونصف قطر الخلية أو قدرة الإرسال. وتُحدد، بالنسبة إلى كل حالة يجري تقييمها، القيم المثلى للمعلمات المذكورة أعلاه في النظام IMT-2000 HAPS حتى يكون متوافقاً مع النظام الخلوي. وستقدم هذه التوصية مبادئ توجيهية بشأن تقييم مسافة المباعدة بين نظام HAPS IMT-2000 ونظام خلوي IMT-2000 موجهاً إلى مقدمي خدمات IMT-2000، عند استعمال هذه الأنظمة المختلفة.

2 نموذج النظام

2.1 النظام HAPS IMT-2000

تم تطوير الأنظمة HAPS وفقاً للتوصية ITU-R M.1457 حتى تتيح عند الاقتضاء خدمة IMT-2000 في النطاقات 1 885 - 1 980 MHz، 2 110 - 2 025 MHz و2 110 - 2 170 MHz في الإقليمين 1 و3، وفي النطاقين 1 885 - 1 980 MHz و2 110 - 2 160 MHz في الإقليم 2. وعلاوة على ذلك، سيكون لمحطات HAPS المستعملة كمحطات قاعدة لتقديم خدمة IMT-2000، مخطط إشعاع هوائي يتوافق مع ما يلي:

$$G(\psi) = \begin{cases} G_m - 3(\psi/\psi_b)^2 & \text{dBi} \quad \text{for} \quad 0 \le \psi \le \psi_1 \\ G_m + L_N & \text{dBi} \quad \text{for} \quad \psi_1 < \psi \le \psi_2 \\ X - 60\log(\psi) & \text{dBi} \quad \text{for} \quad \psi_2 < \psi \le \psi_3 \\ L_F & \text{dBi} \quad \text{for} \quad \psi_3 < \psi \le 90° \end{cases} \tag{1}$$

حيث:

$G(\psi)$: كسب عند الزاوية ψ بالنسبة إلى اتجاه الحزمة الرئيسة (dBi)

G_m: كسب أقصى في الفص الرئيسي (dBi)

ψb: نصف فتحة ذات 3 dB من الحزمة في المستوي المعني (3 dB تحت G_m) (درجات)

L_N: سوية (dB) الفص الجانبي الأكثر قرباً من كسب الذروة الذي يتطلبه تصميم النظام، تبلغ قيمته القصوى –25 dB

$L_F = G_m - 73$ dBi، سوية الفص الجانبي البعيد (dBi)

$\psi_1 = \psi_b\sqrt{-L_N/3}$ درجات

$\psi_2 = 3{,}745\psi_b$ درجات

$X = G_m + L_N + 60\log(\psi_2)$ dB

$\psi_3 = 10^{\frac{X - L_F}{60}}$ درجات

ويتم من جديد تقييم فتحة الحزمة 3 dB ($2\psi_b$) بواسطة :

$$\psi_b = \sqrt{\frac{7\ 442}{10^{0{,}1G_m}}} \quad \text{درجات}$$

حيث تمثل G_m كسب فتحة الذروة (dBi).

2.2 نموذج الانتشار

يتم، فيما يتعلق بالنظام الخلوي، استعمال صيغة موسعة مبسطة من نموذج هاتا، ويُستعمل نموذج الخسارة في الفضاء الحر بالنسبة إلى النظام HAPS.

ويتلاءم النموذج الأخير مع زوايا الارتفاع العالية وينبغي أن يطبق بحذر على زوايا الارتفاع المنخفضة، في انتظار تطوير نموذج أفضل بالنسبة إلى الأنظمة HAPS؛ وعندئذ ينبغي إعادة النظر في هذه المنهجية.

1.2.2 نموذج مبسط من صيغة موسعة لنموذج هاتا

تُستعمل عادة الصيغة الموسعة من نموذج هاتا الذي يرد في المعادلة (2) لنمذجة القناة الراديوية للأنظمة الخلوية في المناطق الحضرية عندما يكون ارتفاع هوائي محطة القاعدة 30 متراً وارتفاع الهوائي المتنقل 1,5 متراً.

$$L = 25{,}87 + 33{,}9 \log_{10}(F) + 35{,}2 \log_{10}(R) \quad (2)$$

حيث:

L: خسارة المسير (dB)

F: التردد (MHz)

R: المدى (المسافة) (km)

ويطبق الاستعمال العام لقانون خسارة المسير قوة 4 في الشبكات الخلوية الأرضية كصيغة موسعة مبسطة من نموذج هاتا كما يبدو في المعادلة (3) لتبسيط اشتقاق المعادلات.

$$L = 25{,}87 + 33{,}9 \log_{10}(F) + 40 \log_{10}(R) \quad (3)$$

2.2.2 نموذج الخسارة في الفضاء الحر

$$L = 32{,}4 + 20 \log_{10}(F) + 20 \log_{10}(R) \quad (4)$$

حيث:

L: خسارة المسير (dB)

F: التردد (MHz)

R: المدى (المسافة) (km)

3 تحليل النسبة *C/I* عند محطة متنقلة خلوية والنسبة *C/I* المطلوبة لتحديد مسافة المباعدة بين نظام HAPS ونظام خلوي

1.3 تحليل النسبة *C/I* عند محطة متنقلة خلوية

يوضح الشكل 1 نموذج التداخل الذي تتعرض له محطة متنقلة خلوية بسبب محطات القاعدة الخلوية وبسبب محطة قاعدة HAPS. ويُفترض أن المحطة المتنقلة الخلوية التي لحقها التداخل توجد عند النقطة الأكثر قرباً من منطقة خدمة HAPS (انظر الشكل 1). ويمكن الحصول على قدرة التداخل التي تتعرض لها محطة متنقلة خلوية انطلاقاً من المعادلة (5)، مع الأخذ في الحسبان التداخل الذي تسببه محطات القاعدة الخلوية والتداخل الذي تسببه محطة قاعدة HAPS (انظر التذييل 1). ونظراً إلى أن المحطة المتنقلة الخلوية تقع عند حد تغطية النظام الخلوي، يُفترض أن بالإمكان غض النظر عن التداخل بين الخلايا.

$$I = I_{Cellular} + I_{HAPS} = \sum_{n=1}^{N} \left\{ K_c S_i 10^{\frac{G_i}{10}} \left[\sum_{m=1}^{c_{in}} d_{inm}{}^{-4} \right] + K_h S_{hn} d_h{}^{-2} \left[\sum_{m=1}^{c_{hn}} 10^{\frac{G_{hn}(\varphi_{hnm})}{10}} \right] \right\} \quad (5)$$

حيث:

α_i: عامل النشاط الصوتي في النظام الخلوي

S_i: قدرة الوصلة الأمامية الخلوية من المحطة القاعدة الخلوية بالنسبة إلى المستعمل عند حافة كل خلية (mW)

M_i: عدد المستعملين في كل خلية من خلايا النظام الخلوي

l_i: خسارة مسير النظام الخلوي لكل كيلومتر

c_{in}: عدد الخلايا التي لحقها التداخل *للطبقة* n في النظام الخلوي ($= 2n + 1$، n: رقم صحيح)

N: عدد الطبقات

c_{hn}: عدد حزم HAPS المسببة للتداخل في الطبقة n داخل المسافة ($2N$-1) × (نصف قطر خلية HAPS) حول حافة الخلية المعرضة للتداخل موضع الدراسة

d_{inm}: المسافة بين محطة متنقلة خلوية ومحطات القاعدة الخلوية (km)

d_h: المسافة بين محطة متنقلة خلوية ومحطة القاعدة HAPS (km)

φ_{hnm}: زاوية بين محطة متنقلة خلوية واتجاه الحزمة لخلية تخدمها محطة القاعدة HAPS (درجات)

S_{hn}: قدرة الوصلة الأمامية من محطة القاعدة HAPS إلى المستعمل عند حافة خلية HAPS الواقعة في الطبقة n (mW)

G_i: كسب هوائي المحطة القاعدة في النظام الخلوي

G_{hn}: كسب الهوائي كما يُعبر عنه في المعادلة (1) طبقاً للطبقة:

$$K_c = \frac{\alpha_i M_i l_i}{3}$$

$$K_h = \alpha_h M_h l_h$$

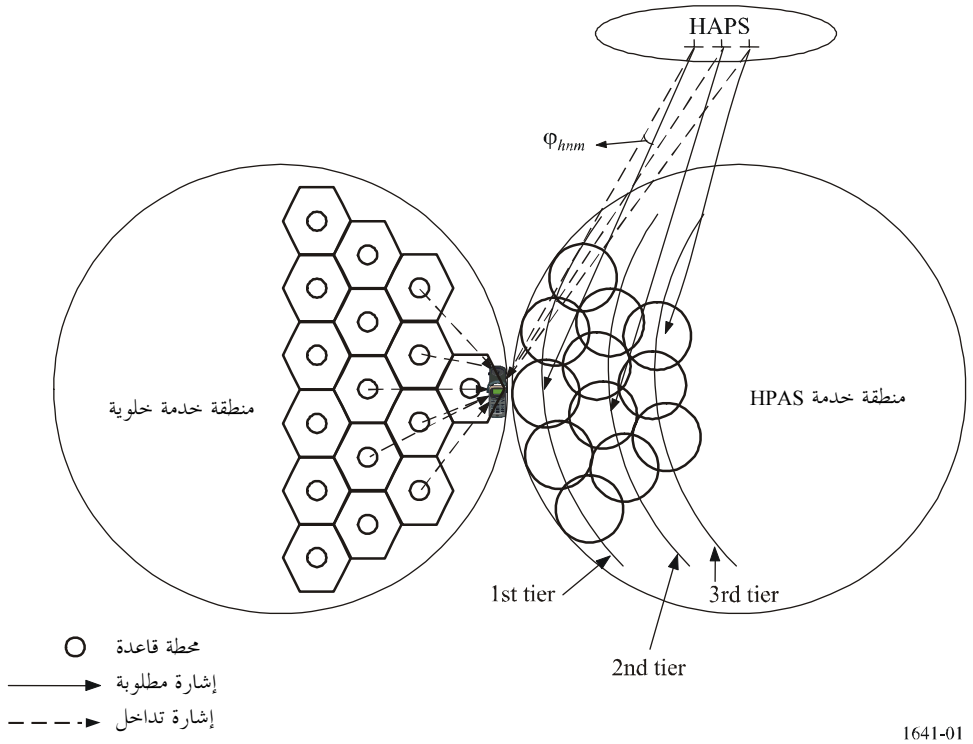
α_h: عامل النشاط الصوتي في النظام HAPS

M_h: عدد مستعملي HAPS في كل خلية

l_h: خسارة مسير HAPS في كل كيلومتر

الشكل 1

نموذج التداخل الذي تتعرض إليه محطة متنقلة خلوية



ويمكن الحصول على النسبة *C/I* لمحطة متنقلة خلوية بواسطة المعادلة (6).

$$C/I = \frac{P_F(r_j) \times 10^{\frac{G_i}{10}} \times l_i \times R_i^{-4}}{I} \quad (6)$$

حيث:

$P_F(r_j)$: القدرة المرسلة الخاصة بوصلة مستعمل عند المسافة r_j

r_j: المسافة بين محطة قاعدة خلوية بالنسبة إلى الموجة الحاملة والمستعمل الخلوي j-th

R_i: نصف قطر خلية خلوية (km)

2.3 النسبة *C/I* المطلوبة لتحديد مسافة المباعدة

تُعرَّف مسافة المباعدة، في هذه التوصية، على أنها المسافة بين كفاف تغطية نظام HAPS وكفاف تغطية الخلية الأكثر قرباً الخادمة للمحطة المتنقلة الخلوية التي لحقها التداخل. ومن الضروري، من أجل تقاسم الطيف بين نظام HAPS والنظام الخلوي الذي يُقدم خدمة IMT-2000 في منطقة مجاورة، تحديد مسافة المباعدة المناسبة. ويُعبر عن قيمة *C/I* المطلوبة في نظام النفاذ متعدد الإرسال بتقسيم الشفرة (CDMA) الخلوي بواسطة المعادلة (7):

$$C/I = \frac{P_F(r_j) \times 10^{\frac{G_i}{10}} \times l_i \times R_i^{-4}}{I} \quad (7)$$

حيث:

E_b: طاقة/بتة

I_0: قدرة التداخل/هرتز (Hz)

R_b: عدد البتات/ثانية

B_c: عرض نطاق القناة الراديوية (Hz).

الملحق 2

مثال على حساب مسافة المباعدة بين النظام HAPS ونظام خلوي يقدم الخدمة IMT-2000

1 معلمات تتعلق بحساب النسبة *C/I*

يبين الجدول 1 المعلمات والقيم المستعملة في حساب النسبة *C/I* عند محطة متنقلة خلوية لحِقها التداخل بسبب محطة القاعدة HAPS ومحطات قاعدة خلوية.

الجدول 1

المعلمات الضرورية لحساب النسبة *C/I*

المعلمة	القيمة
التردد (MHz)	1,950
عدد المستعملين في كل خلية في النظام الخلوي	50
عدد الطبقات المسببة للتداخل	5
نصف قطر خلية في نظام خلوي (km)	1
قدرة الإرسال لكل مستعمل لنظام خلوي (mW)	100
ارتفاع محطة HAPS (km)	20
نصف قطر تغطية خلية HAPS (km)	55
عامل النشاط الصوتي للنظام الخلوي (α_i)	0,375
عامل النشاط الصوتي للنظام HAPS (α_h)	0,375

وإذا كان E_b/I_0 وR_b وB_c تعادل 4,5 dB و8 kbit/s و1,25 MHz على التوالي، نحصل على قيمة مطلوبة للنسبة *C/I*، $(C/I)_{req}$ = -17,438 dB، بتطبيق المعادلة (7).

وتستعمل نسبة *C/I* المستخرجة من المعادلة (7) كمعيار لتحديد مسافة الفصل بين نظام HAPS، ونظام خلوي لخدمة IMT-2000.

2 حساب مسافة المباعدة

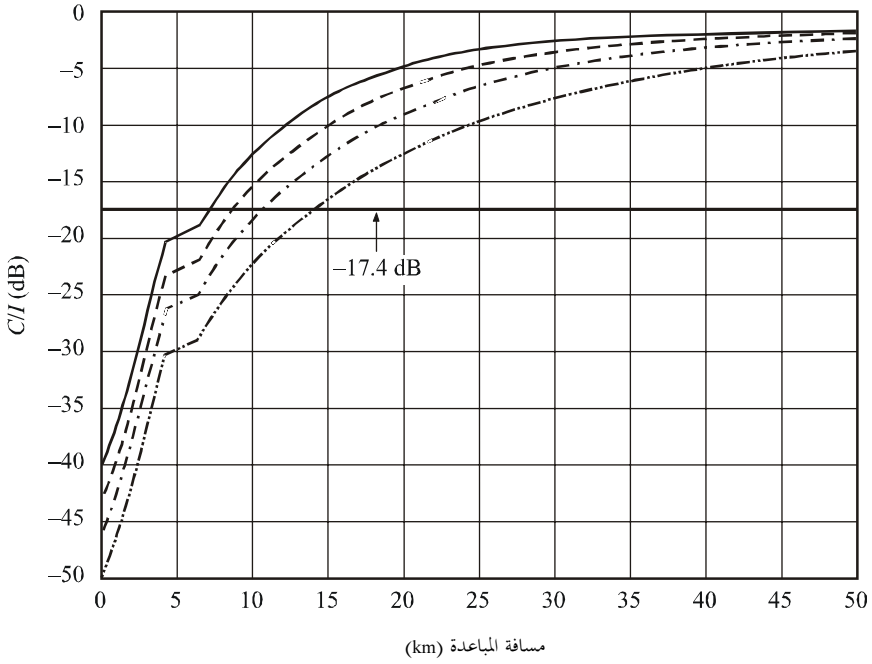
لتحليل التداخل الذي يتعرض له نظام خلوي، تُستعمل في هذا المثال القيمة –17,4 dB من النسبة *C/I* كمعيار للنسبة *C/I* الاسمية الداخلية للنظام الخلوي للأرض، وذلك لتحديد مسافة المباعدة بين نظام HAPS ونظام خلوي. وينبغي أن يُؤخذ بهذا المعيار كحد لتشغيل محطة متنقلة؛ (تعد المعايير المستعملة في العادة أكثر صرامة).

ويُفترض أن يصل عدد طبقات التداخل إلى 5، لأنه يمكن التغاضي عن التداخل الإضافي بالنسبة إلى عدد طبقات تداخل يفوق 5. ويعتبر أقصى كسب هوائي محطة القاعدة HAPS ملائماً بالنسبة إلى نصف قطر خلية HAPS.

وتحتوي الأشكال 2 و3 و4 على القيمة المحسوبة (انطلاقاً من المعادلة (5) والاعتبارات الواردة أعلاه) للنسبة *C/I* بحسب مسافة المباعدة بالنسبة إلى نموذج هاتا الموسع والمبسط، مع مراعاة عدد المستعملين لكل خلية وقدرة الإرسال ونصف قطر خلية نظام HAPS معاً.

الشكل 2

النسبة *C/I* بحسب مسافة المباعدة لأعداد مختلفة
من مستعملي نظام HAPS في كل خلية



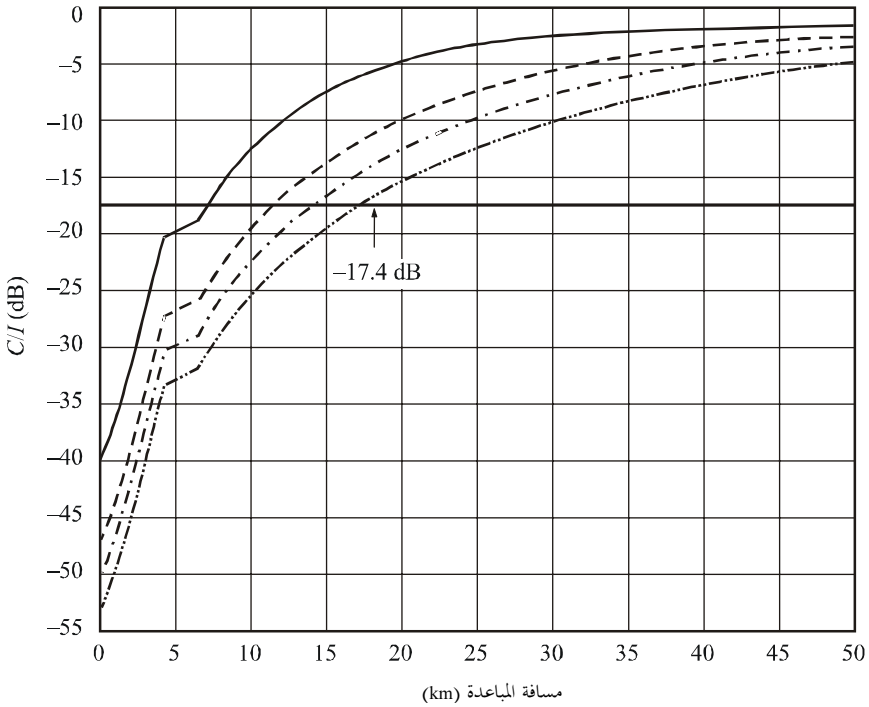
قدرة النظام الخلوي: 100 mW
نصف قطر خلية النظام الخلوي: 1 km
عدد مستعملي النظام الخلوي في كل خلية: 50
قدرة نظام HAPS: 10 mW
نصف قطر خلية نظام HAPS: 2 km

عدد مستعملي HAPS في كل خلية: 50
عدد مستعملي HAPS في كل خلية: 200
عدد مستعملي HAPS في كل خلية: 100
عدد مستعملي HAPS في كل خلية: 500

1641-02

الشكل 3

النسبة *C/I* بحسب مسافة المباعدة بالنسبة إلى قدرة إرسال مختلفة



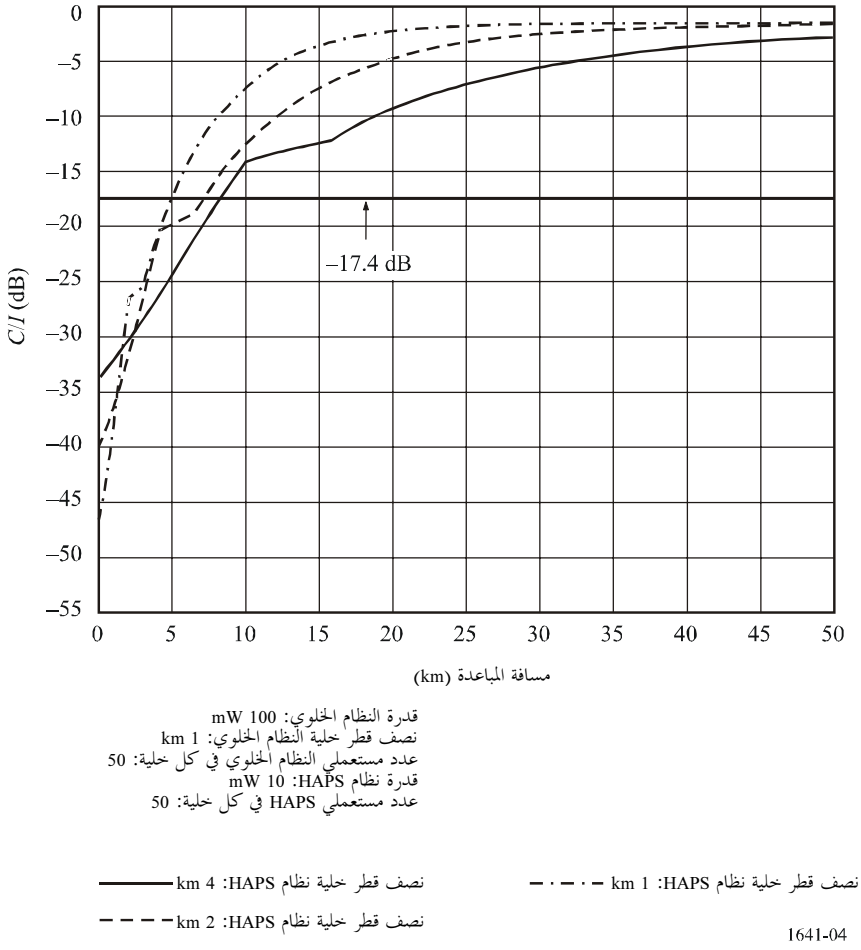
قدرة النظام الخلوي: 100 mW
نصف قطر خلية النظام الخلوي: 1 km
عدد مستعملي النظام الخلوي في يكل خلية: 50
نصف قطر خلية نظام HAPS: 2 km
عدد مستعملي HAPS في كل خلية: 50

قدرة النظام HAPS: 10 mW
قدرة النظام HAPS: 100 mW
قدرة النظام HAPS: 50 mW
قدرة النظام HAPS: 200 mW

1641-03

الشكل 4

النسبة *C/I* بحسب مسافة المباعدة بالنسبة إلى أنصاف أقطار مختلفة لخلية HAPS



يوضح الشكل 2 قيمة النسبة *C/I* كدالة على مسافة المباعدة، مع الأخذ في الحسبان عدد مستعملي HAPS في كل خلية. وتعد قيم النسبة *C/I* على مستوى المحطة المتنقلة الخلوية أقل من قيمة العتبة التي تصل إلى –17,4 dB عند نقطة تماس النظامين. وعندما تبلغ قدرة إرسال HAPS لكل مستعمل 10 mW ويكون نصف قطر خلية HAPS هو 2 km، تكون مسافات المباعدة المطلوبة بين النظامين: 7,2 و8,8 و10,8 و14,1 km، عندما يبلغ عدد مستعملي HAPS في كل خلية 50 أو 100 أو 200 أو 500 على التوالي (انظر الجدول 2).

ويوضح الشكل 3 قيمة النسبة *C/I* كدالة على مسافة المباعدة، مع الأخذ في الحسبان قدرة إرسال HAPS لكل مستعمل. وتعد قيم النسبة *C/I* على مستوى المحطة المتنقلة الخلوية أقل من قيمة العتبة عند نقطة تماس النظامين. وعندما يصل عدد مستعملي HAPS في كل خلية 50 ويكون نصف قطر خلية HAPS هو 2 km، تكون مسافات المباعدة المطلوبة بين النظامين: 7,2 و11,5 و14,1 و17,4، عندما تبلغ قدرة الإرسال لكل مستعمل 10 أو 50 أو 100 أو 200 mW على التوالي (انظر الجدول 3).

ويوضح الشكل 4 قيمة النسبة *C/I* كدالة على مسافة المباعدة، مع الأخذ في الحسبان نصف قطر خلية HAPS. وتتوقف قيم النسبة *C/I* على مستوى المحطة المتنقلة الخلوية على نصف قطر خلايا HAPS. وعندما يصل عدد مستعملي HAPS في كل خلية

50 وتكون قدرة الإرسال في كل خلية مساوية للقيمة 10 mW، تكون مسافات الفصل المطلوبة بين النظامين: 8,3 أو 7,2 أو 5، عندما يكون نصف قطر خلية النظام HAPS هو 4 و2 أو1 km، على التوالي (انظر الجدول 4).

وفي مثال الحساب مع *C/I* = –17,4 dB، تكون قيمة *C/I*، التي يتم الحصول عليها بافتراض انتشار خلوي فحسب (أي بدون HAPS)، مساوية تقريباً للقيمة -8 dB، وهو ما يعني ترك هامش ملحوظ للتداخل الخارجي. ويُفترض في المثال الثاني للحساب أن قيمة *C/I* تقتصر على القيمة -12 dB.

الجدول 2

مسافة المباعدة بالنسبة إلى أعداد مختلفة من مستعملي HAPS في كل خلية

عدد مستعملي HAPS في كل خلية	مسافة المباعدة (km)	
	C/I **= –17,4 dB**	***C/I*** **= –12 dB**
50	7,2	10,6
100	8,8	12,9
200	10,8	15,9
500	14,1	20,9

الجدول 3

مسافة المباعدة بالنسبة إلى قدرة الإرسال

قدرة HAPS (mW)	مسافة المباعدة (km)	
	C/I **= –17,4 dB**	***C/I*** **= –12 dB**
10	7,2	10,6
50	11,5	17
100	14,1	20,9
200	17,4	25,7

الجدول 4

مسافة المباعدة بالنسبة إلى نصف قطر خلية HAPS

نصف قطر خلية HAPS (km)	مسافة المباعدة (km)	
	C/I **= –17,4 dB**	***C/I*** **= –12 dB**
1	5	7,1
2	7,2	10,6
4	8,3	16,1

التذييل 1
بالملحق 1

حساب التداخل بين نظام HAPS ونظام خلوي

1 تداخل تتعرض له محطة متنقلة خلوية

1.1 تداخل تسببه محطة قاعدة خلوية

يتم الحصول على قدرة إرسال محطة قاعدة خلوية تقوم على قوانين مبسطة للتحكم في القدرة بواسطة المعادلة:

$$\begin{cases} \left(\frac{r_{i0}}{R_i}\right)^4 S_i & \text{for} \quad 0 < r_j \le r_{i0} \\ \left(\frac{r_j}{R_i}\right)^4 S_i & \text{for} \quad r_{i0} < r_j \le R_i \end{cases} = P_F(r_j) \tag{8}$$

حيث:

Ri: نصف قطر خلية نظام خلوي

rj: المسافة إلى المحطة المتنقلة المرقمة *j* داخل خلية واحدة

PF (rj): القدرة المرسلة من موقع خلية إلى مستعمل خلوي *j*.

ولنفترض أن Pc تمثل متوسط القدرة المرسلة انطلاقاً من محطة قاعدة خلوية. نحصل، باستعمال قانون التحكم في القدرة في المعادلة (8)، على ما يلي:

$$\begin{aligned} P_c &= \alpha_i \rho_i \int_0^{R_i} P_F(r_j) \times 2\pi r_j \mathrm{d}r_j \\ &= 2\pi\alpha_i\rho_i \left[\int_0^{r_{i0}} \left(\frac{r_{i0}}{R_i}\right)^4 S_i r_j \mathrm{d}r_j + \int_{r_{i0}}^{R_i} \left(\frac{r_j}{R_i}\right)^4 S_i r_j \mathrm{d}r_j \right] \\ &= \frac{\pi\alpha_i\rho_i S_i {R_i}^2}{3} \left[1 + \left(\frac{r_{i0}}{R_i}\right)^6 \right] \end{aligned} \tag{9}$$

حيث:

ρi: كثافة المستعملين

وإذا كانت $\rho_i = \frac{M_i}{\pi R_i^2}$، تكتب Pc على النحو التالي:

$$P_c = \frac{\alpha_i S_i M_i}{3}\left[1+\left(\frac{r_{i0}}{R_i}\right)^6\right] \quad (10)$$

ولنفترض أن r_{i0} = R_i 0,55، نحصل عندئذ على: $\left[1+\left(\frac{r_{i0}}{R_i}\right)^6\right] \approx 1{,}027 \approx 1$.

وعليه، تصبح المعادلة (10):

$$P_c = \frac{\alpha_i S_i M_i}{3} \quad (11)$$

وتعطي المعادلة التالية التداخل الإجمالي الذي تسببه محطات قاعدة خلوية في محطة متنقلة خلوية:

$$I_{Cellular} = \sum_{n=1}^{N}\left[\sum_{m=1}^{c_{in}} l_i P_c 10^{\frac{G_i}{10}} d_{inm}^{-4}\right] = \frac{\alpha_i S_i M_i l_i}{3} 10^{\frac{G_i}{10}} \sum_{n=1}^{N}\left[\sum_{m=1}^{c_{in}} d_{inm}^{-4}\right] \quad (12)$$

2.1 تداخل تسببه محطة القاعدة HAPS

يُعبر عن قدرة كل خلية من المستوى n ترسلها محطة القاعدة HAPS، P_{hn} بواسطة المعادلة (14). ولكي يتسنى الحصول على نفس مستوى القدرة على حافة الخلية في كل منطقة خدمة، ستحسب قدرة إرسال نظام HAPS لكل مستعمل على النحو التالي:

$$P_{hn} = \alpha_h S_{hn} M_h \quad (13)$$

$$S_{hn} = \begin{cases} \dfrac{l_i}{l_h}\dfrac{10^{(Gi/10)}}{10^{(G_{hn}/10)}}\dfrac{d_h^{\,2}}{r_i^{\,4}} S_i, & n=1 \\ \dfrac{10^{(G_{h(n-1)}/10)}}{10^{(G_{hn}/10)}}\dfrac{d_{hn}^{\,2}}{d_{h(n-1)}^{\,2}} S_{h(n-1)}, & n \geq 2 \end{cases}$$

حيث:

S_{hn}: قدرة وصلة HAPS الأمامية للمستعمل على حافة خلية HAPS الواقعة في الجزء n.

d_{hn}: المسافة من المحطة القاعدة HAPS إلى المحطة المتنقلة HAPS الواقعة في الجزء n عند أقرب نقطة للتغطية الخلوية.

ويعطى التداخل الإجمالي الذي تسببه محطة القاعدة HAPS في محطة خلوية متنقلة، عن طريق المعادلة التالية:

$$I_{HAPS} = \sum_{n=1}^{N}\left[\sum_{m=1}^{c_{hn}} l_h P_h 10^{\frac{G_{hn}(\varphi_{hnm})}{10}} d_h^{-2}\right] = \alpha_h M_h l_h d_h^{-2}\left[\sum_{n=1}^{N} S_{hn} \sum_{m=1}^{c_{hn}} 10^{\frac{G_{hn}(\varphi_{hnm})}{10}}\right] \quad (14)$$

حيث:

$$d_h = \sqrt{r_h^2 + h_s^2}$$

r_h: المسافة بين نظير سمت HAPS ومحطة متنقلة خلوية

h_s: ارتفاع محطة HAPS.

التذييل 2
بالملحق 1

مخططات إشعاع الهوائي

1 مخطط الإشعاع المرجعي المستعمل (التوصية ITU-R M.1456)

ترد الخصائص المفترضة فيما يتعلق بمخطط الإشعاع المرجعي في الشكل 5 وهي تأخذ في الاعتبار أقصى قيم كسب الهوائي التي تبلغ على التوالي 23 dBi و35 dBi و50 dBi.

الشكل 5

مخططات إشعاع الهوائي