

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R M.2101-0
(2017/02)

نمذجة شبكات وأنظمة الاتصالات المتنقلة
الدولية ومحاكاتها من أجل الاستعمال
في دراسات التقاسم والتوافق

السلسلة M

الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي
وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة

تمهيد

يوظف قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد مدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها. ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهروتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد الاستمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en> حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>)

العنوان	السلسلة
البث الساتلي	BO
التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية	BR
الخدمة الإذاعية (الصوتية)	BS
الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)	BT
الخدمة الثابتة	F
الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة	M
انتشار الموجات الراديوية	P
علم الفلك الراديوي	RA
أنظمة الاستشعار عن بُعد	RS
الخدمة الثابتة الساتلية	S
التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية	SA
تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة	SF
إدارة الطيف	SM
التجميع الساتلي للأخبار	SNG
إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت	TF
المفردات والمواضيع ذات الصلة	V

ملاحظة: تمت الموافقة على النسخة الإنكليزية لهذه التوصية الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.

النشر الإلكتروني

جنيف، 2018

التوصية ITU-R M.2101-0

نمذجة شبكات وأنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية ومحاكاتها من أجل الاستعمال في دراسات التقاسم والتوافق

(2017)

مجال التطبيق

تضم هذه التوصية منهجية لنمذجة شبكات الاتصالات المتنقلة الدولية¹ ومحاكاتها من أجل الاستعمال في دراسات التقاسم والتوافق بين الاتصالات المتنقلة الدولية والأنظمة و/أو التطبيقات الأخرى. ولذا، فهي لا تطرح أي افتراضات على معالم النظام أو النمذجة لتلك الأنظمة و/أو التطبيقات الأخرى وتقتصر بشكل دقيق على تقديم معلومات بشأن أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية.

مصطلحات أساسية

الاتصالات المتنقلة الدولية، الاتصالات المتنقلة الدولية-المتقدمة، الأنظمة المتنقلة، مسائل التقاسم/التوافق

التوصيات والتقارير ذات الصلة

التوصية ITU-R M.2012 - مواصفات مفصلة للسطوح البينية الراديوية للأرض في الاتصالات المتنقلة الدولية-المتقدمة (IMT-Advanced)

التقرير ITU-R M.2292 - خصائص أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية-المتقدمة للأرض من أجل تحليلات تقاسم الترددات/التداخل

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن المسألة ITU-R 229/5 تتناول مواصلة تطوير المكون الأرضي للاتصالات المتنقلة الدولية وأن الدراسات ذات الصلة في إطار هذه المسألة جارية في قطاع الاتصالات الراديوية؛

ب) أن القرار **223 (Rev.WRC-15)** يدعو قطاع الاتصالات الراديوية إلى إجراء عدد من دراسات التوافق بين أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية والأنظمة و/أو التطبيقات الأخرى؛

ج) أن القرار **238 (WRC-15)** يدعو قطاع الاتصالات الراديوية إلى إجراء دراسات التقاسم والتوافق المناسبة بين أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية والأنظمة و/أو التطبيقات الأخرى في عدد من نطاقات الترددات؛

د) أن من المتوقع تطوير سطوح بينية راديوية جديدة تدعم القدرات الجديدة للاتصالات المتنقلة الدولية-2020 إلى جانب تحسين الاتصالات المتنقلة الدولية-2000 والاتصالات المتنقلة الدولية-المتقدمة، طبقاً للقرار ITU-R 57-2؛

هـ) أن من الضروري وضع منهجيات لنمذجة شبكات الاتصالات المتنقلة الدولية ومحاكاتها من أجل تحليل التوافق بين أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية والأنظمة في الخدمات الأخرى؛

و) أن من الضروري توصيف محاكاة إرسالات شبكات الاتصالات المتنقلة الدولية توصيفاً دقيقاً، بما في ذلك حساب التأثير الإجمالي، لنمذجة أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية بصورة واقعية في سيناريوهات التقاسم والتوافق،

¹ تتناول الإشارات إلى الاتصالات المتنقلة الدولية في هذه التوصية نمذجة شبكات الاتصالات المتنقلة الدولية-المتقدمة وشبكات الاتصالات المتنقلة الدولية-2020.

إذ تدرك

أ) أن التقرير ITU-R M.2292 يوفر خصائص أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية-المتقدمة للأرض لاستعمالها في تحليلات تقاسم الترددات/التداخل؛

ب) أن التوصية ITU-R M.2012 تتضمن مواصفات مفصلة للسطوح البينية الراديوية للأرض في الاتصالات المتنقلة الدولية-المتقدمة (IMT-Advanced)؛

ج) أن التوصيتين ITU-R M.2070 و ITU-R M.2071 توفران الخصائص العامة للبث غير المرغوب فيه للمحطات القاعدة والمحطات المتنقلة على الترتيب، باستعمال السطوح البينية الراديوية للأرض الخاصة بالاتصالات المتنقلة الدولية-المتقدمة،

توصي

بضرورة أن تستند نمذجة شبكات وأنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية ومحادثها من أجل الاستعمال في دراسات التقاسم والتوافق إلى المنهجية الواردة في الملحق 1.

المختصرات:

ACIR	نسبة قدرة التداخل في القنوات المجاورة (<i>adjacent channel interference power ratio</i>)
ACLR	نسبة قدرة التسرب في القنوات المجاورة (<i>adjacent channel leakage power ratio</i>)
ACS	انتقائية القنوات المجاورة (<i>adjacent channel selectivity</i>)
AAS	نظام هوائي متقدم (<i>advanced antenna system</i>)
BS	محطة قاعدة (<i>base station</i>)
D2D	من جهاز إلى جهاز (<i>device-to-device</i>)
eMBB	النطاق العريض المتنقل المحسّن (<i>enhanced mobile broadband</i>)
FD	كامل الأبعاد (<i>full-dimension</i>)
FDR	الرفض القائم على التردد (<i>frequency dependent rejection</i>)
HO	التمرير (<i>handover</i>)
M2M	من آلة إلى آلة (<i>machine-to-machine</i>)
MTC	الاتصالات بين الآلات (<i>machine-type communications</i>)
mMTC	الاتصالات الكثيفة بين الآلات (<i>massive machine-type communications</i>)
MIMO	تعدد المدخلات والمخرجات (<i>Multiple Input Multiple Output</i>)
MBB	النطاق العريض المتنقل (<i>mobile broadband</i>)
OOB	خارج النطاق (<i>Out-of-band</i>)
OOBE	بث خارج النطاق (<i>out-of-band emission</i>)
RB	وحدة موارد (<i>resource block</i>)
RF	تردد راديوي (<i>radio frequency</i>)
UE	معدات المستخدمين (<i>user equipment</i>)
URLLC	الاتصالات الفائقة الاعتمادية والمنخفضة الكمون (<i>ultra-reliable and low latency communications</i>)

الملحق 1

منهجية من أجل نمذجة شبكات الاتصالات المتنقلة الدولية ومحاكاتها
من أجل الاستعمال في دراسات التقاسم والتوافق

3	..... الملحق 1	
4	..... مقدمة	1
4	..... التعاريف والمفاهيم الأساسية	2
4	..... سيناريوهات الاستعمال	1.2
5	..... سيناريوهات النشر	2.2
7	..... التحكم في قدرة الإرسال	3.2
7	..... تكنولوجيا الهوائيات المتقدمة وخصائصها	4.2
7	..... ارتفاع الهوائي وهياكل البيئة	5.2
8	..... كثافة المحطات وتوزيعها	6.2
8	..... نماذج الانتشار	7.2
8	..... المكثرات من أجل التغطية داخل المباني	8.2
8	..... معايير الحماية في الاتصالات المتنقلة الدولية	9.2
8	..... إعداد المحاكاة	3
9	..... طوبولوجيا الشبكة	1.3
13	..... نمذجة شبكات الاتصالات المتنقلة الدولية من أجل حساب التداخل	2.3
15	..... شبكات الإرسال المزدوج بتقسيم التردد (FDD)/الإرسال المزدوج بتقسيم الزمن (TDD)	3.3
15	..... منهجية المحاكاة	4.3
23	..... تنفيذ التحكم في قدرة معدات المستخدمين في الاتصالات المتنقلة الدولية	4
23	..... خوارزمية التحكم في القدرة	1.4
24	..... تنفيذ مخطط الهوائي المكوّن للحزم في المحطات القاعدة ومعدات المستخدمين في الاتصالات المتنقلة الدولية	5
25	..... مخطط العنصر	1.5
26	..... مخطط الهوائي المركب	2.5
27	..... تطبيق معلومات حركة الاتصالات المتنقلة الدولية	6
28	..... تحديد التداخل المتراكم	7
29	..... توضيح النتائج المؤقتة لنمذجة الاتصالات المتنقلة الدولية	8
30	..... المراجع	9
31	..... المرفق 1 بالملحق 1	
32	..... المرفق 2 بالملحق 1	

1 مقدمة

يضم هذا الملحق منهجية لنمذجة شبكات الاتصالات المتنقلة الدولية ومحاكاتها من أجل الاستعمال في دراسات التقاسم والتوافق. وهو يصف نماذج الاتصالات المتنقلة الدولية المناسبة التي يتعين استعمالها في دراسات التقاسم والتوافق بين الاتصالات المتنقلة الدولية والأنظمة الراديوية الأخرى في نطاقات تردد مختلفة.

وترد في الفقرة 2 تعاريف شبكات الاتصالات المتنقلة الدولية ومفاهيمها الأساسية بغية تسهيل انتقاء نموذج الاتصالات المتنقلة الدولية المناسب. كما يقدم القسم 2 معلومات عن العناصر التقنية مثل قدرة الخرج ومخطط الهوائي وارتفاعه والبيئة المرتبطة بسيناريوهات النشر، وكثافة محطات الاتصالات المتنقلة الدولية وتوزيعها، فضلاً عن معلومات عن نماذج الانتشار بالنسبة للمسيرات بين المحطات القاعدة والمحطات المتنقلة للاتصالات المتنقلة الدولية.

ويتضمن الملحق المعلومات التفصيلية لنظام الاتصالات المتنقلة الدولية التي يتعين النظر فيها في عملية النمذجة هذه وتنفيذها في عمليات المحاكاة على النحو المبين في الفقرات من 3 إلى 6. وتتضمن الفقرة 3 تحديداً خطوات المحاكاة من أجل نمذجة إجمالي البث المتولد من شبكة للاتصالات المتنقلة الدولية (في حالة أن تكون الاتصالات المتنقلة الدولية هي النظام المسبب للتداخل) فضلاً عن نمذجة التأثير على شبكة الاتصالات المتنقلة الدولية (في حالة أن تكون الاتصالات المتنقلة الدولية هي النظام المعرض للتداخل). ولاحقاً، يرد في الفقرة 7 وصف للاعتبارات المستند إليها في حساب التأثير الإجمالي للتداخل المحتمل المتولد من نظام للاتصالات المتنقلة الدولية.

وعلاوةً على ذلك، تصف الفقرة 8 وسائل مقارنة تنفيذ نمذجة نظام الاتصالات المتنقلة الدولية من خلال مقارنة النتائج المؤقتة المتصلة بأداء النظام وتشغيله، وذلك بغية التشديد على أهمية نمذجة أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية نمذجة واقعية في سيناريوهات التقاسم والتوافق.

2 التعاريف والمفاهيم الأساسية

1.2 سيناريوهات الاستعمال

تعدّ الاتصالات المتنقلة الدولية-المتقدمة السطح البيئي الراديوي الأكثر قبولاً على نطاق واسع لتوفير النطاق العريض المتنقل (MBB). وسيدعم السطح البيئي الراديوي للاتصالات المتنقلة الدولية-2020، إلى جانب دعمه حالة استعمال النطاق العريض المتنقل المحسّن (eMBB)، حالات الاستعمال الناشئة من خلال تطبيقات متنوعة منها الاتصالات الكثيفة بين الآلات (mMTC) والاتصالات الفائقة الاعتمادية والمنخفضة الكمون (URLLC). وتطبق هذه المنهجية على جميع السيناريوهات أعلاه، وتركز بصورة رئيسية على سيناريوهي النطاق العريض المتنقل والنطاق العريض المتنقل المحسّن، اللذين يعدّان سيناريوهي الاستعمال الأكثر شيوعاً في دراسات التقاسم والتوافق.

وينتج النطاق العريض المتنقل والنطاق العريض المتنقل المحسّن من تطبيق تكنولوجيات أكثر فعالية من حيث استعمال الطيف على كميات أكبر من الطيف، بما يتيح إمكانية توفير خدمات ذات معدلات بيانات أعلى. وتمثل الاتصالات الكثيفة بين الآلات في توصيل أعداد كبيرة من الأجهزة التي تنخفض فيها التكلفة واستهلاك الطاقة في إطار إنترنت الأشياء. ومن المتوقع أن تساعد الاتصالات الفائقة الاعتمادية والمنخفضة الكمون في ضبط وأتمتة العمليات الدينامية في الوقت الفعلي في مجالات شتى، مثل أتمتة العمليات الصناعية، والتصنيع وتوزيع الطاقة، وأنظمة النقل الذكية، وهو ما يتطلب اتصالات على درجة عالية من الاعتمادية والتيسر وذات كمون منخفض من طرف إلى طرف.

ويمكن أن تُستخدم الاتصالات من جهاز إلى جهاز (D2D) ومن آلة إلى آلة (M2M) في تطبيقات الاتصالات الكثيفة بين الآلات والاتصالات الفائقة الاعتمادية والمنخفضة الكمون. وفي الاتصالات من جهاز إلى جهاز/من آلة إلى آلة، تقيم المحطات المتنقلة اتصالات مع المحطات القاعدة باستعمال قنوات التحكم الخاصة بها. وتُنقل حركة بيانات المستعملين بواسطة قناة للبيانات مباشرةً بين المحطات المتنقلة. وفي هذا السيناريو، تكون المحطات المتنقلة واقعة داخل منطقة خلية توفرها محطة قاعدة.

2.2 سيناريوهات النشر

إن من المفيد، من منظور النشر، أن تُصنّف شبكات النفاذ الراديوي في الاتصالات المتنقلة الدولية-المتقدمة والاتصالات المتنقلة الدولية-2020 على أنها إما خارج المباني أو داخلها أو تصنّف على أنها إما تغطية سلسلة في منطقة واسعة أو تغطية في منطقة صغيرة.

ويوفّر الجدول 1 وصفاً رفيع المستوى لعمليات النشر في الاتصالات المتنقلة الدولية. وتمثل الفئتان 1 و2 التشكيلة القائمة لشبكات الاتصالات المتنقلة الدولية ذات التغطية الكبيرة السلسلة. ويمكن تشغيل الفئتين 3 و4 بشكل مستقل أو مجتمعين مع الفئتين 1 و2 لتغطية المناطق الصغيرة.

الجدول 1

فئات شبكات النفاذ الراديوي

موقع المحطة المتنقلة	تغطية سلسلة في منطقة واسعة	تغطية في منطقة صغيرة
محطة متنقلة خارج المباني	الفئة 1 خلية كبيرة تقليدية (هوائي شامل الاتجاهات، هوائي قطاعي، هوائي مكوّن للحزم)	الفئة 3 تغطية خارج المباني في منطقة صغيرة (هوائي شامل الاتجاهات، هوائي قطاعي، هوائي مكوّن للحزم)
محطة متنقلة داخل المباني	الفئة 2 تغطية عن طريق خلية كبيرة خارج المباني (هوائي شامل الاتجاهات، هوائي قطاعي، هوائي مكوّن للحزم)	الفئة 4 تغطية داخل المباني في منطقة صغيرة (هوائي شامل الاتجاهات، هوائي قطاعي، هوائي مكوّن للحزم)

وعلاوةً على ذلك، يمكن تصنيف شبكات النفاذ الراديوي لكل سيناريو من سيناريوهات النشر مع مراعاة الجوانب التالية:

- (أ) البيئات (ريفية / شبه حضرية / حضرية / داخل المباني)؛
(ب) تغطية سلسلة في منطقة واسعة / تغطية في منطقة صغيرة.

وتحدد في الجدول 2 ستة سيناريوهات للنشر كتوليفات من الجانبين أعلاه (أ) و(ب). وتمثل سيناريوهات النشر الثلاثة المتمثلة في النشر في بيئة ريفية كبيرة، وبيئة شبه حضرية كبيرة، وبيئة حضرية كبيرة، التشكيلة القائمة لشبكات الاتصالات المتنقلة الدولية ذات التغطية السلسلة الكبيرة. أما سيناريوهات النشر الثلاثة الأخرى المتمثلة في النشر في بيئة شبه حضرية صغيرة، وبيئة حضرية صغيرة، داخل المباني، فتُطبّق لتغطية المناطق الصغيرة.

ويمكن تشغيل سيناريوهات النشر الثلاثة الأخيرة بشكل مستقل في بعض الحالات، بينما قد يحدث كثيراً أن يجري تشغيلها مجتمعةً مع سيناريوهات النشر الثلاثة الأولى.

ويمكن تطبيق تصنيف سيناريوهات النشر الواردة في الجدول 2 على نماذج الاتصالات المتنقلة الدولية ذات الصلة وبيئات الانتشار المرتبطة بها لتطبيق النمذجة المناسبة للاتصالات المتنقلة الدولية من أجل دراسات التقاسم.

الجدول 2

سيناريوهات نشر شبكات النفاذ الراديوي

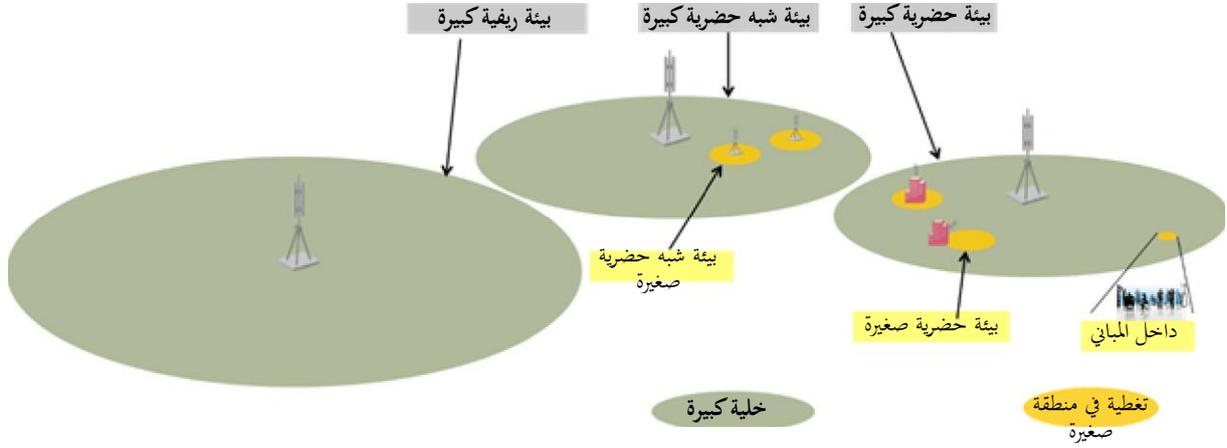
موقع المحطة القاعدة	تغطية سلسلة في منطقة واسعة	تغطية في منطقة صغيرة
بيئة ريفية	بيئة ريفية كبيرة	لا ينطبق
بيئة شبه حضرية	بيئة شبه حضرية كبيرة	بيئة شبه حضرية صغيرة
بيئة حضرية	بيئة حضرية كبيرة	بيئة حضرية صغيرة

داخل المباني	لا ينطبق	داخل المباني
--------------	----------	--------------

ويرد توضيح للسيناريوهات الممكنة في الشكل 1 ويجري تناولها بمزيد من التفصيل أدناه.

الشكل 1

أمثلة لسيناريوهات النشر



M.2101-01

(1) النشر في بيئة ريفية كبيرة

يركز سيناريو النشر في بيئة ريفية على تغطية أكبر ومتواصلة في منطقة واسعة. وعادةً ما تُنشر هوائيات المحطات القاعدة أعلى برج.

(2) النشر في بيئة شبه حضرية كبيرة

يركز سيناريو النشر في بيئة شبه حضرية كبيرة على تغطية سلسلة في مناطق شبه حضرية (سكنية بشكل رئيسي) وفي البلدات الريفية ذات المباني المنخفضة الارتفاع، لكنه لا يشمل المناطق غير المأهولة بالسكان فيما بينها. وعادةً ما تُنشر هوائيات المحطات القاعدة على برج/فوق سطح المبنى. ويمكن أن يوجد المستعملون داخل المباني أو خارجها.

(3) النشر في بيئة حضرية كبيرة

يركز سيناريو النشر في بيئة حضرية كبيرة على المباني المتعددة الطوابق وتُنشر هوائيات المحطات القاعدة عادةً في مستوى السطح أو أعلى منه. وقد تختلف قدرة المحطة القاعدة بحسب احتياجات النشر المحلي والتغطية. ويمكن أن يوجد المستعملون خارج المباني أو داخلها. وتعتبر المكررات من أجل التغطية داخل المباني، إذا وُجدت، مكافئة لمعدات المستعملين (UE)، ولذا تُعامل على أنها كذلك.

(4) النشر في بيئة شبه حضرية صغيرة

يركز سيناريو النشر في بيئة شبه حضرية صغيرة على تحسين السعة في مناطق المجتمعات الصغيرة ذات المباني المنخفضة الارتفاع في المناطق شبه الحضرية. وتُنشر هوائيات المحطات القاعدة عادةً فوق أعمدة. ويمكن أن يوجد المستعملون داخل المباني أو خارجها. وتعتبر المكررات من أجل التغطية داخل المباني، إذا وُجدت، مكافئة لمعدات المستعملين، ولذا تُعامل على أنها كذلك.

(5) النشر في بيئة حضرية صغيرة

يركز سيناريو النشر في بيئة حضرية صغيرة على المباني المتعددة الطوابق وتكون هوائيات المحطات القاعدة تحت مستوى السطح. وهوائيات المحطات القاعدة التي تُنشر تكون عادةً إما هوائيات وحيدة القطاع أو هوائيات مكوّنة للحزم بقدره خرج منخفضة. ومن

منظور تأثيرات الانتشار، يكون لسيناريو النشر بيئة حاجبة و/أو تغلب عليها الانعراجات/الانتشارات المتعددة بالقرب من الهوائيات، مثل خلية صغيرة في الشارع وبؤرة توصيل صغيرة. ويمكن أن يوجد المستعملون خارج المباني أو داخلها.

(6) النشر داخل المباني

يحدث سيناريو النشر داخل المباني في معظم الأحوال في البيئتين الحضرية وشبه الحضرية. وتوجد المحطات القاعدة والمستعملون داخل المباني.

3.2 التحكم في قدرة الإرسال

ينبغي في دراسات تقييم تأثير شبكة كاملة للاتصالات المتنقلة الدولية أن يُؤخذ في الاعتبار الطابع المتنوع لشبكة الاتصالات المتنقلة الدولية، ولا سيما التحكم في القدرة.

وفيما يخص الوصلة الصاعدة، يمكن لبعض أنواع الأجهزة (مثل الأجهزة ذات القدرة المنخفضة الخاصة بتطبيقات الاتصالات بين الآلات (MTC)) أن تعمل من دون أي شكل من أشكال التحكم في القدرة، بينما هناك أنواع أخرى (مثل أجهزة النطاق العريض المتنقل المحسّن) يستعمل فيها هذا التحكم. ويعوّض التحكم في القدرة كلياً أو جزئياً الفرق في خسارة الاقتران بين الأجهزة المختلفة الموصولة بالمحطة القاعدة وله مستوى استقبال مستهدف أولي لكل وحدة موارد (RB).

وفيما يخص الوصلة الهابطة، يستعمل عدد من أنواع المحطات القاعدة (الكبيرة، والصغيرة، والصغيرة جداً، والمتناهية الصغر، إلخ) لكل منها مستوى مختلف للقدرة المشعة المكافئة المتاحة (EIRP). وتكون قدرة الخرج للمحطات القاعدة في البيئات الحضرية الصغيرة وداخل المباني الواردة في الفقرة 2.2 عموماً أقل من تلك الخاصة بسيناريوهات النشر الأخرى. ولا تطبق أي خطة للتحكم في قدرة الوصلة الهابطة في المحطة القاعدة وتكون قدرة الإرسال لكل وحدة موارد ثابتة. ويختلف إجمالي قدرة الوصلة الهابطة باختلاف عدد وحدات الموارد المستعملة. لكن في هذه التوصية تجرى نمذجة هذا التأثير بطريقة مختلفة. (انظر الفقرة 4.3).

4.2 تكنولوجيا الهوائيات المتقدمة وخصائصها

خلال الأعوام الماضية، استُحدثت هوائيات للمحطات القاعدة في الاتصالات المتنقلة الدولية لتحسين إرسال الإشارات أو استقبالها. كما زاد أيضاً عدد هوائيات الاستقبال في مطاريف الاتصالات المتنقلة الدولية.

وتتعدد عناصر الهوائيات في المحطة القاعدة وفي المطراف، غدت هناك إمكانية لقدرات جديدة. فتتعدد المدخلات وتعدد المخرجات (MIMO) يتيح تدفقات متعددة للإشارة تستعمل من أجل تنوع الإرسال، أو تعدد الإرسال المكاني، أو تكوين الحزم، أو توجيه التصغيري في اتجاه أو في آخر.

وستعمل الاتصالات المتنقلة الدولية-2020، إلى جانب عملها في مديات الترددات الأدنى، أيضاً في نطاقات الترددات الأعلى. وتحدد أبعاد الهوائي وفقاً للتردد، ما يتيح للمحطات القاعدة والمطاريف استعمال منطقة تغطية أصغر للهوائي مع زيادة عدد عناصر الهوائي في الترددات الأعلى. وتدعم زيادة عدد عناصر الهوائي أشكال حزم أضيق ويمكن أن تقلل من التداخل المحتمل الذي يتعرض له مستقبل آخر بخلاف المستقبل المقصود. كما يمكن لكسب حزمة أعلى أن يخفف من الخسارة في المسار الأعلى في الترددات الأعلى، مثل الموجات المليمترية، وأن يدعم التدفقات المتعددة للإشارة إلى مستعملين متعددين (فيما يعرف بتعدد المدخلات تعدد المخرجات للمستعملين المتعددين).

5.2 ارتفاع الهوائي وهياكل البيئة

ثمّة القليل من الهياكل المعمارية العالية التي تعترض الانتشار على خط البصر حول هوائيات المحطات القاعدة في البيئة الريفية. في حين تظهر هياكل معمارية أعلى وأكثر كثافة حول هوائيات المحطات القاعدة كلما تباينت البيئة من شبه حضرية إلى حضرية. لذا، سيتأثر الانتشار بحسب موقع هوائيات المحطات القاعدة والهياكل المعمارية حولها.

6.2 كثافة المحطات وتوزيعها

من الضروري مراعاة المرونة في كثافة المحطات الراديوية وتوزيعها عند حساب التداخل الإجمالي. وتنشأ الطلبات على حركة ذات معدلات بيانات عالية بصورة أساسية في مناطق الاتصال الهامة المختلفة. وفي العادة لا تغطي عمليات النشر في نطاقات الترددات الأعلى جميع المناطق في البلد/الإقليم، حيث إن التغطية قد تستكمل باستعمال نطاقات الترددات الأدنى.

7.2 نماذج الانتشار

توجد الاتصالات المتنقلة الدولية في تشكيلات نشر عديدة، تشمل الشبكة المتجانسة ذات الطبقة الوحيدة، مثل الشبكة الكبيرة، والشبكات غير المتجانسة ذات الطبقات المتعددة، مثل الشبكة الكبيرة/الصغيرة أو الشبكة الكبيرة/الصغيرة جداً أو الشبكة الصغيرة/الصغيرة جداً، إلخ، وينبغي لها أن تتعامل مع بيئات انتشار إما من خارج المباني إلى خارج المباني، أو من خارج المباني إلى داخل المباني، أو داخل المباني في العديد من نطاقات الترددات.

وفضلاً عن ذلك، ينبغي أيضاً أن تؤخذ في الحسبان بيئة الانتشار بين أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية والأنظمة في الخدمات الأخرى التي تخضع لأي ظروف خاصة بالتعايش. وتوجد بالفعل العديد من النماذج مثل توصيات السلسلة P لقطاع الاتصالات الراديوية أو تقاريره. ولحساب خسارة المسير بين المحطات القاعدة ومعدات المستخدمين في الاتصالات المتنقلة الدولية، انظر أيضاً التقرير ITU-R M.2135.

ولا يشمل مجال تطبيق هذه الوثيقة تأثيرات الانتشار بين الأنظمة المسببة للتداخل والمعرضة له. لكن، عند اختيار نماذج الانتشار، ينبغي أن تؤخذ في الحسبان بيئات نشر أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية، بما في ذلك موقع هوائيات المحطات القاعدة، والهياكل المادية المحيطة، والترددات العاملة.

8.2 المكثرات من أجل التغطية داخل المباني

قد يكون من العملي، للتغلب على حدوث خسارة كبيرة جراء الاختراق إلى داخل المباني، استعمال مكثرات مثبتة على الحائط خارج المباني أو موضوعة جوار النوافذ داخل المباني حتى يمكن الحصول بسهولة على انتشار على خط البصر تقريباً في اتجاه محطة قاعدة.

9.2 معايير الحماية في الاتصالات المتنقلة الدولية

ترد معايير الحماية في وثائق قطاع الاتصالات الراديوية مثل التقرير ITU-R M.2292، الذي يتيح نسبة التداخل إلى الضوضاء (I/N) بوصفها معياراً للحماية. والنسبة I/N هي نسبة مستوى التداخل المسموح باستقباله بين الأنظمة في مستقبل الاتصالات المتنقلة الدولية إلى مستوى ضوضاء المستقبل (الضوضاء الحرارية + عامل ضوضاء المستقبل).

وعند نمذجة شبكات الاتصالات المتنقلة الدولية، يمكن أن تستخدم أيضاً نسبة تدهور الموجة الحاملة إلى التداخل مضافاً إليه الضوضاء (C/(I+N)) في تقييم خسارة الصبيب أو انقطاع نظام الاتصالات المتنقلة الدولية من جراء التداخل بين الأنظمة.

3 إعداد المحاكاة

حتى يمكن نمذجة شبكات الاتصالات المتنقلة الدولية ومحاكاتها من أجل الاستعمال في دراسات التعايش، من الضروري اختيار ظروف النشر المناسبة. و ظروف النشر المفترضة هي جوانب بالغة الأهمية ستؤثر تأثيراً مباشراً في نتائج أي دراسة من دراسات التقاسم. ومن أمثلة هذه العوامل هو الاختيار الواقعي للبيئة التي ستعمل فيها شبكة الاتصالات المتنقلة الدولية المفترضة (حضرية/شبه حضرية/ريفية) ونطاقات الترددات التي ستستخدم في محاكاة الاتصالات المتنقلة الدولية. وفضلاً عن ذلك، يجوز مراعاة كثافة وتوزيع المحطات والقدرة المشعة المكافئة المتناحية (EIRP) استناداً إلى عوامل من قبيل حجم المنطقة التي يتجمع فيها التداخل. أما العوامل الأخرى التي ينبغي أخذها في الاعتبار، فستناقش بشكل وجيز أدناه.

1.3 طوبولوجيا الشبكة

ثمة نوعان مختلفان لهياكل الشبكات: الشبكات المتجانسة والشبكات غير المتجانسة. ويتألف هيكل الشبكة المتجانسة من محطة قاعدة واحدة. ويمكن أن تكون المحطة القاعدة كبيرة أو صغيرة أو داخل المباني. أما هيكل الشبكة غير المتجانسة فيتألف من توليفة من نوعين على الأقل من المحطات القاعدة. وقد يكون من الضروري توفير توليفة من هياكل الشبكات من أجل الدراسات التي تشمل منطقة كبيرة أو تُجرى على مستوى البلد.

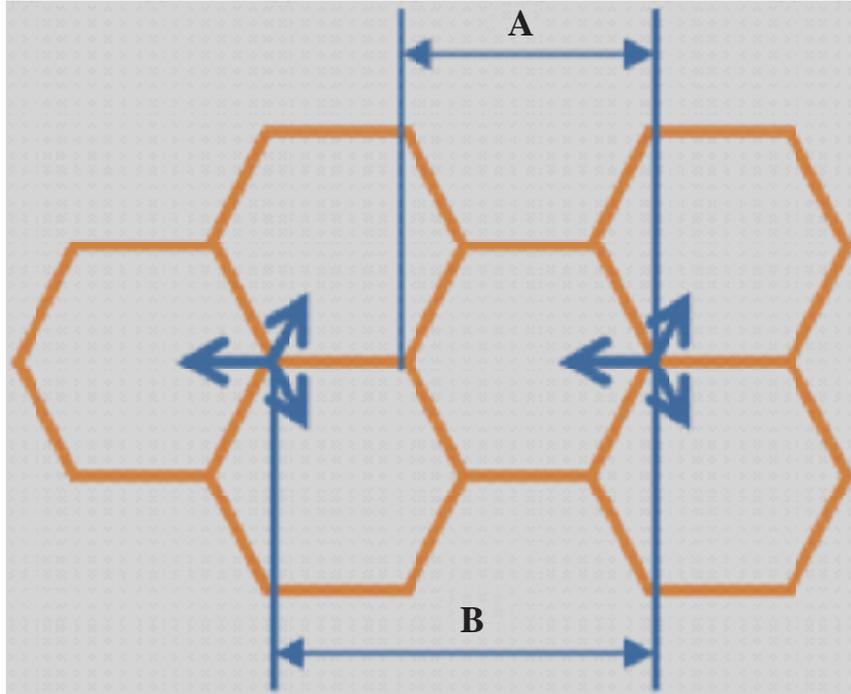
1.1.3 الشبكة الخلوية الكبيرة

تُنشر المحطات القاعدة الكبرى في العادة فوق الأسطح. ويوضح الشكل 2 هندسة نشر مكون من ثلاثة قطاعات، كما يوضح المعلمتين: نصف قطر الخلية (A) والمسافة بين المواقع (B). وتُبيّن كل خلية (يُشار إليها أيضاً بالقطاع) كشكل سداسي، وفي هذا الشكل، هناك ثلاث خلايا/ثلاثة قطاعات لكل موقع لمحطة قاعدة. ويمكن أن تختلف أبعاد الخلايا في شبكات الاتصالات المتنقلة الدولية اختلافاً كبيراً بحسب البيئة، وتردد الموجة الحاملة، ونوع المحطة القاعدة.

وفي دراسات التقاسم التي تشمل منطقة كبيرة أو تُجرى على مستوى البلد والتي يستخدم فيها نصف القطرين المقابلين للبيئتين الحضرية وشبه الحضرية، ينبغي أن يراعى في نشر تلك المحطات القاعدة أنها لا تنشر إلا في مناطق محدودة ومركزية في المدن الكبيرة وفي المناطق شبه الحضرية.

الشكل 2

هندسة الخلية الكبيرة



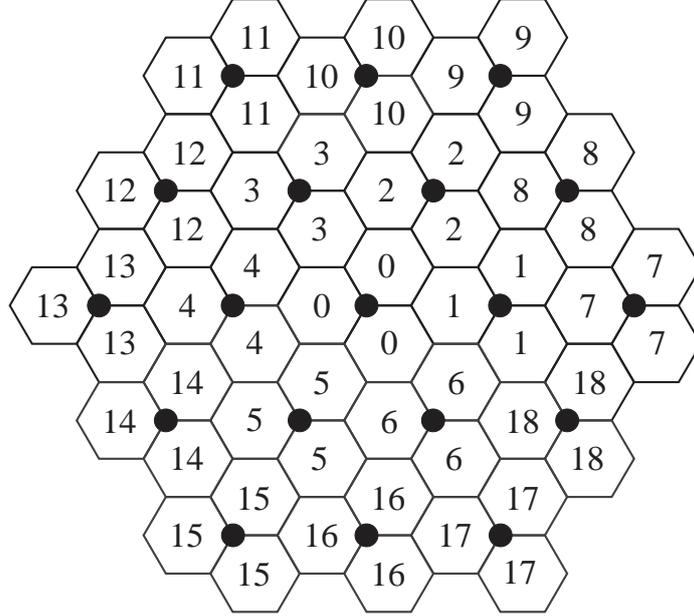
M.210102

ويبيّن الشكل 3 مثلاً لطوبولوجيا الشبكة الكبيرة. والمنطقة الكاملة في الشبكة المناسبة لعمليات المحاكاة هي مجموعة من تسعة عشر موقعاً لكل منها ثلاثة قطاعات (من الموقع صفر إلى الموقع 18 في الشكل)، حيث تتكرر المجموعات الأخرى للمواقع التسعة عشر حول هذه المجموعة المركزية بالاستناد إلى منهجية الالتفاف التي تستخدم لتجنب تأثيرات الحافة الناجمة عن نشر

الشبكة. (انظر المرفق 2 للاطلاع على منهجية الالتفاف). وفي بعض السيناريوهات، مثل الحالات العابرة للحدود، قد يكون من الضروري نمذجة تأثيرات الحافة.

الشكل 3

مخطط الخلية الكبيرة (المجموعة المركزية)



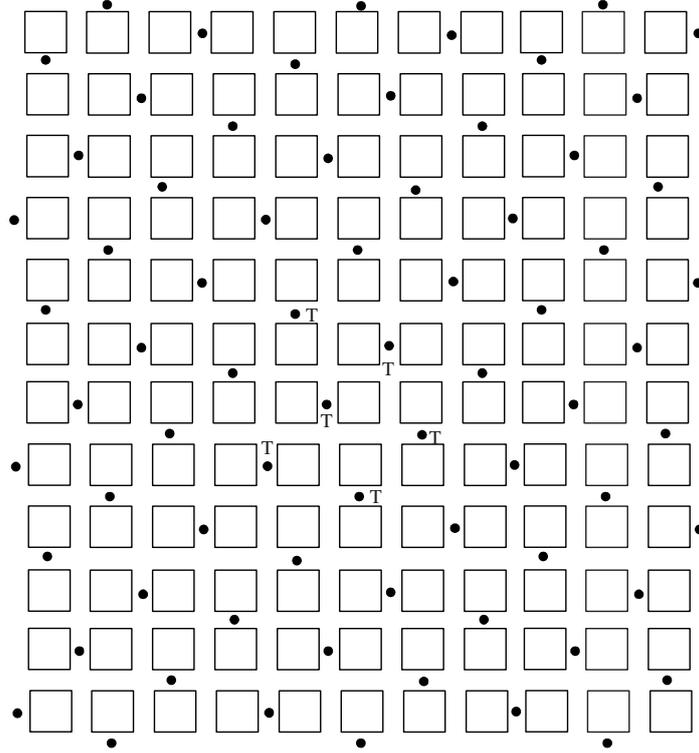
M.2101-03

2.1.3 الشبكة الخلوية الصغيرة

في البيئة الحضرية، تُنشر المحطات القاعدة الصغيرة عموماً أسفل أسطح المباني. ومن أمثلة طوبولوجيا الخلية الصغيرة [2] ما يُسمى بنموذج مانتاتن. وتوضع المحطات القاعدة الخاصة بالخلايا الصغيرة في شبكة مانتاتن على النحو المقترح في الشكل 4.

الشكل 4

طوبولوجيا الخلية الصغيرة



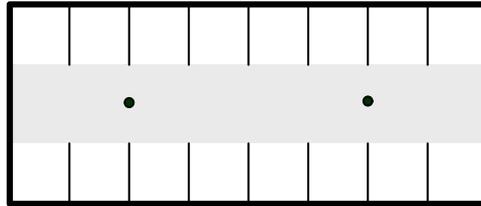
M.2101-04

3.1.3 بؤرة التوصيل داخل المباني

في هذا السيناريو، تُنشر المحطات القاعدة داخل المباني. ومن أمثلة سيناريوهات بؤرة التوصيل داخل المباني طبق معين في المبني. وتُبيّن في الشكل 5 طوبولوجيا الخلية داخل المباني. وستختلف أبعاد الخلايا الداخلية بحسب نطاق الترددات وتشكيلة المبني من الداخل. وستُستخدم عمليات نشر مماثلة لمحاكاة كل طابق في سيناريو تقاسم متعدد الطوابق. وإذا ما اعتُبر نظام داخل المباني للاتصالات المتنقلة الدولية نظاماً مسبباً للتداخل، ينبغي أن تؤخذ في الحسبان الخسارة جراء الاختراق إلى داخل المبني.

الشكل 5

مخطط بؤرة التوصيل داخل المباني



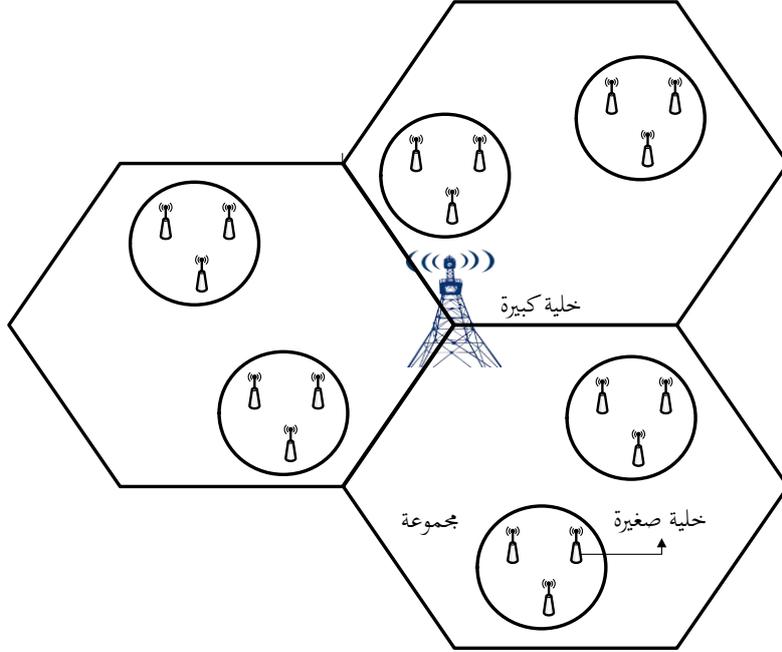
M.2101-05

4.1.3 الشبكات غير المتجانسة

يُبيّن الشكل 6 مثلاً لشبكة غير متجانسة تتألف من خلايا كبيرة وخلايا صغيرة. ويوزع العديد من مجموعات الخلايا الصغيرة في منطقة تغطية خلية كبيرة. وتتألف كل مجموعة من عدد من الخلايا التي يمكن أن توضع إما عشوائياً أو في مواقع ثابتة ومحددة سلفاً.

الشكل 6

مخطط الشبكات غير المتجانسة



M.210106

وبالاستناد إلى المخطط المبين في الشكل 6، يجوز أن تُجرى العملية العشوائية المستخدمة في توزيع المحطات القاعدة الصغيرة في خطوتين متتاليتين:

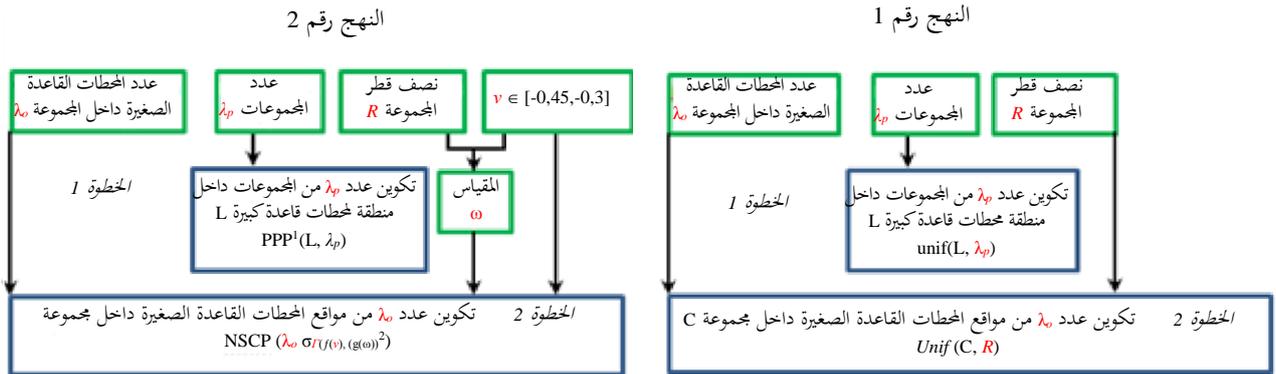
الخطوة 1: توليد عدد λ_p من المجموعات داخل منطقة الخلية الكبيرة باتباع التوزيع $D_{cluster}$.

الخطوة 2: توليد عدد λ_o من مواقع المحطات القاعدة الصغيرة داخل كل مجموعة باتباع التوزيع D_{BS} .

ويرد وصف للنهجين المختلفين باتباع هاتين الخطوتين. وكلاهما ينطوي على طوبولوجيا المحطات القاعدة الصغيرة بعدد λ_p من المجموعات ونصف القطر R للمجموعة الذي يوضع فيه عدد المحطات القاعدة الصغيرة λ_p داخل كل مجموعة.

الشكل 7

مخطط انسيابي لتكوين المحطات القاعدة الصغيرة



M.210107

في الشكل 7 أعلاه، يستند النهج 1 إلى [1] ويفترض توزيعاً عشوائياً منتظماً (داخل منطقة جغرافية كبيرة) للمجموعات ومواقع المحطات القاعدة الصغيرة داخل كل مجموعة من المجموعات، بينما يتطلب النهج 2 الذي يستند إلى عمليات نشر فعلية للمحطات القاعدة الصغيرة [8] معلمة إضافية ν ويأخذ في اعتباره توزيعات مختلفة للاحتمال للمجموعة (عملية نقاط بواسون (PPP)) ومواقع المحطات القاعدة الصغيرة (تباين غاما σ_r). انظر المرفق 1 لمزيد من المعلومات عن معني نصف القطر (R)، والمقياس (ω)، والمعلمة الإضافية (ν) والعلاقة بينهم. والجدير بالذكر أنه على الرغم من أنه يمكن تطبيق كلا النهجين في دراسات التقاسم، قد يكون النهج 2 أكثر ملاءمة في حال أن كان المستقبل المعرض للتداخل في خدمة بخلاف الاتصالات المتنقلة الدولية موجوداً بالقرب من محطات قاعدة في الاتصالات المتنقلة الدولية (مثلاً داخل نفس البيئة الحضرية).

وحتى يمكن تجنب حدوث تداخل قوي من الخلية الكبيرة، تستخدم الخلية الصغيرة دوماً نطاقاً آخر للترددات. وفيما يخص الشبكة التي تستخدم ترددات مختلفة من أجل طبقتي الاتصالات المتنقلة الدولية، يكفي في دراسة التقاسم محاكاة الطبقة المجاورة لتردد النظام المعرض للتداخل أو الطبقة المتراكبة معه. لكن ينبغي لهذه المحاكاة أن تراعي أن الحركة كلها لا تنقل في طبقة الاتصالات المتنقلة الدولية التي تمت محاكاتها.

وفيما يخص الشبكة التي تستخدم نطاقات ترددات متعددة، ستستخدم الخلية الكبيرة نطاق الترددات الأدنى من أجل تغطية كاملة.

2.3 نمذجة شبكات الاتصالات المتنقلة الدولية من أجل حساب التداخل

في دراسات التقاسم والتوافق، ينبغي أن يُراعى اختلاف أنواع التداخل بحسب اختلاف السيناريوهات. وتبين هذه السيناريوهات في هذا القسم.

فيما يخص السيناريوهات التي تضم أنظمة للاتصالات المتنقلة الدولية وأنظمة من غير الاتصالات المتنقلة الدولية، ينبغي أن يُنظر إلى تأثيرات القناة المشتركة والقناة المجاورة معاً على أنه رفض يعتمد على التردد (FDR) على النحو المبين في التوصية ITU-R SM.337.

1.2.3 الإرسالات في قناة مشتركة

في السيناريو الذي ينطوي على نظام مسبب للتداخل وآخر معرض له يعملان في نفس التردد (قناة مشتركة)، فإن النوع الغالب من التداخل الذي يتعين أخذه في الحسبان هو ذلك الناجم من القدرة المرسلة في القناة المشتركة والخاصة بالنظام المسبب للتداخل.

2.2.3 الإرسالات في قناة مجاورة

فيما يخص سيناريو النطاق المجاور الذي ينطوي على نظام مسبب للتداخل وآخر معرض له يعملان على ترددين مختلفين، ثمة نوعان من التداخل ينبغي أخذهما في الحسبان:

- البث غير المرغوب فيه من النظام المسبب للتداخل: يتألف البث غير المرغوب فيه من البث خارج النطاق والبث الهامشي؛
- أداء مستقبل النظام المعرض للتداخل فيما يخص منع التداخل: قدرة المستقبل على استقبال إشارة مرغوب فيها داخل عرض نطاق القناة المخصصة له في وجود التداخل.

1.2.2.3 البث غير المرغوب فيه للنظام المسبب للتداخل

1.1.2.2.3 التداخل من البث خارج النطاق (OOB)

البث خارج النطاق للنظام المسبب للتداخل هو البث غير المرغوب فيه على تردد واحد أو عدة ترددات واقعة خارج عرض النطاق اللازم، ولكنها في جواره المباشر، وهو ناتج عن عملية التشكيل، ولكن يستثنى فيه البث الهامشي.

وفيما يخص أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية، يمكن حساب التداخل الناجم عن البث خارج النطاق للنظام المسبب للتداخل P_{tx}^{OOB} على النحو التالي:

$$(1) \quad P_{tx}^{OOB} = P_{tx} - ACLR \quad \text{dB}$$

حيث:

P_{tx} (dBm): قدرة الخرج للمرسل المسبب للتداخل

$ACLR$ (dB): نسبة قدرة التسرب في القناة المجاورة، وهي نسبة القدرة المتوسطة التي تم ترشيحها (التي تخضع للتكامل عبر عرض نطاق القناة المخصصة) المتمركزة على تردد القناة المخصصة، إلى القدرة المتوسطة التي تم ترشيحها (التي تخضع للتكامل عبر عرض نطاق القناة المجاورة) المتمركزة على تردد لإحدى القنوات المجاورة. ويمكن أن تشتق نسبة قدرة التسرب في القناة المجاورة من قناع البث خارج النطاق الذي يُعطى في المواصفات ذات الصلة مثل المواصفة 3GPP [6][7].

وقد تلزم أيضاً معلومات بشأن البث خارج النطاق من أنظمة أخرى (من غير الاتصالات المتنقلة الدولية)، قد تحددها نسبة قدرة التسرب في القناة المجاورة أو قد لا تحددها.

2.1.2.2.3 التداخل من البث الهامشي

البث الهامشي هو البث غير المرغوب فيه على تردد واحد أو عدة ترددات تقع خارج مجال البث خارج النطاق ويجوز تقليص مستواه من دون التأثير على إرسال المعلومات المقابل. ويشمل البث الهامشي الإرسالات التوافقية، والإرسالات الطفيلية، ومنتجات التشكيل البيني وتحويل التردد، ولكن يستثنى منها البث خارج النطاق.

وفيما يخص أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية، يمكن الحصول على القيمة المحددة للبث الهامشي $P_{tx}^{spurious}$ في نطاق تردد ما من المواصفات ذات الصلة مثل التقرير ITU-R M.2292 ومن المواصفة 3GPP.

وعلى غرار البث خارج النطاق، يمكن حساب قيمة مكافئة لنسبة قدرة التسرب في القناة المجاورة ($ACLR_{equiva}$) من أجل البث الهامشي واستعمالها في المحاكاة. وبالتالي، يمكن أن تشتق القيمة $P_{tx}^{spurious}$ على النحو الوارد أدناه،

$$(2) \quad P_{tx}^{spurious} = P_{tx} - ACLR_{equiva} \quad \text{dB}$$

وقد تلزم أيضاً معلومات بشأن البث الهامشي من أنظمة أخرى (من غير الاتصالات المتنقلة الدولية)، قد تحددها نسبة قدرة التسرب في القناة المجاورة أو قد لا تحددها.

2.2.2.3 منع التداخل

إن خصائص منع التداخل هي مقياس لقدرة المستقبل على استقبال إشارة مرغوب فيها على القناة المخصصة له في وجود نظام مسبب للتداخل غير مرغوب فيه.

وفيما يخص أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية، يمكن أن تشتق قيمة منع التداخل $P_{blocking}$ على النحو الوارد أدناه:

$$(3) \quad P_{blocking} = P_{rx} - ACS \quad \text{dB}$$

حيث:

P_{rx} (dBm): القدرة المتوسطة للإشارة المسببة للتداخل عند المستقبل

ACS (dB): انتقائية القناة المجاورة هي مقياس لقدرة المستقبل على استقبال إشارة في تردد القناة المخصصة له في وجود إشارة تم تشكيلها في قناة مجاورة. ويمكن حساب قيمة انتقائية القناة المجاورة (ACS) من ACS /مستوى منع التداخل المحدد في المواصفات ذات الصلة. انظر التقرير ITU-R M.2039-3، الملاحظة (27) بالجدول 2، أو المواصفة 3GPP TR 36.942.

وقد يكون من المطلوب أيضاً توفير معلومات بشأن خصائص منع التداخل لأنظمة أخرى (من غير الاتصالات المتنقلة الدولية)، التي قد تحددها أو لا تحددها انتقائية القنوات المجاورة (ACS).

3.2.3 نسبة قدرة التداخل في القناة المجاورة (ACIR)/الرفض المعتمد على التردد (FDR)

تعرف نسبة قدرة التداخل في القناة المجاورة (ACIR) على إنها نسبة إجمالي القدرة المرسلّة من مصدر (محطة قاعدة أو معدة لمستعمل) إلى إجمالي قدرة التداخل التي تؤثر في مستقبل معرض للتداخل، والناجمة عن عيوب في المرسل والمستقبل على السواء. وعادةً ما تستخدم النسبة ACIR في الأوضاع التي يكون فيها النظام المسبب للتداخل والنظام المعرض للتداخل نظامين للاتصالات المتنقلة الدولية. لذا، فإن النسبة ACIR هي مجموع قيمة نوعين من التداخل (البث غير المرغوب فيه ومنع التداخل)، وتحسب وفقاً للمعادلة (4) مع التعبير عن النسبة ACLR و ACS في شكل خطي.

$$(4) \quad ACIR^{-1} = ACLR_{TX}^{-1} + ACS_{RX}^{-1}$$

وإذا لم تتوفر قيمتا ACS و ACLR، يمكن الاستعاضة عن القيمة ACIR بالقيمة FDR على النحو المبين في التوصية ITU-R SM.337.

4.2.3 خصائص عمليات التنفيذ الفعلي لمعدات الاتصالات المتنقلة الدولية

يكون الأداء القابل للتحقق في عمليات التنفيذ الفعلي لمعدات الاتصالات المتنقلة الدولية، مثل مستويات البث غير المرغوب فيه أو الأداء فيما يخص منع التداخلات، أفضل في الظروف الطبيعية مقارنة بتلك المحددة في المعايير.

لذا، فلدى نمذجة أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية، يمكن أن يؤخذ في الحسبان التصميم العملي لمعدات الاتصالات المتنقلة الدولية. وحيثما توفرت المعلومات مثل نتائج قياس مستويات البث غير المرغوب فيه في عمليات التنفيذ الفعلي للمعدات، يجوز عند نمذجة أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية أن يؤخذ في الحسبان الفرق بين القيمة المحددة والقيمة المقاسة.

3.3 شبكات الإرسال المزدوج بتقسيم التردد (FDD)/الإرسال المزدوج بتقسيم الزمن (TDD)

يمكن أن تعمل شبكات الاتصالات المتنقلة الدولية إما بوصفها شبكة للإرسال المزدوج بتقسيم التردد (FDD) (تستخدم نطاق تردد مختلف لكل من الوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة)، أو شبكة للإرسال المزدوج بتقسيم الزمن (TDD) (تستخدم نطاق التردد نفسه للوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة في ظروف نسب ثابتة أو متغيرة بين الوصلة الصاعدة/الوصلة الهابطة المتزامنة/غير المتزامنة) أو بوصفها شبكة للوصلة الهابطة/الوصلة الصاعدة فقط. ولا بد لنمذجة الاتصالات المتنقلة الدولية أن تأخذ في اعتبارها هذا الأمر عند وضع سيناريو للمحاكاة.

وإذا نشأ تداخل إجمالي في اتجاه نظام معرض للتداخل من مساحة كبيرة/كبيرة جداً من الأرض مثلاً عند ساتل أو منصة عالية الارتفاع، فربما يكون من الضروري للمحاكي أن يكون قادراً على تناول شبكات عديدة ومنفصلة جغرافياً للاتصالات المتنقلة الدولية.

4.3 منهجية المحاكاة

يبيّن هذا القسم خطوات منهجية المحاكاة التي ينبغي اتباعها لتوليد بث في الوصلة الصاعدة أو الوصلة الهابطة من شبكة للاتصالات المتنقلة الدولية من أجل دراسات التعايش.

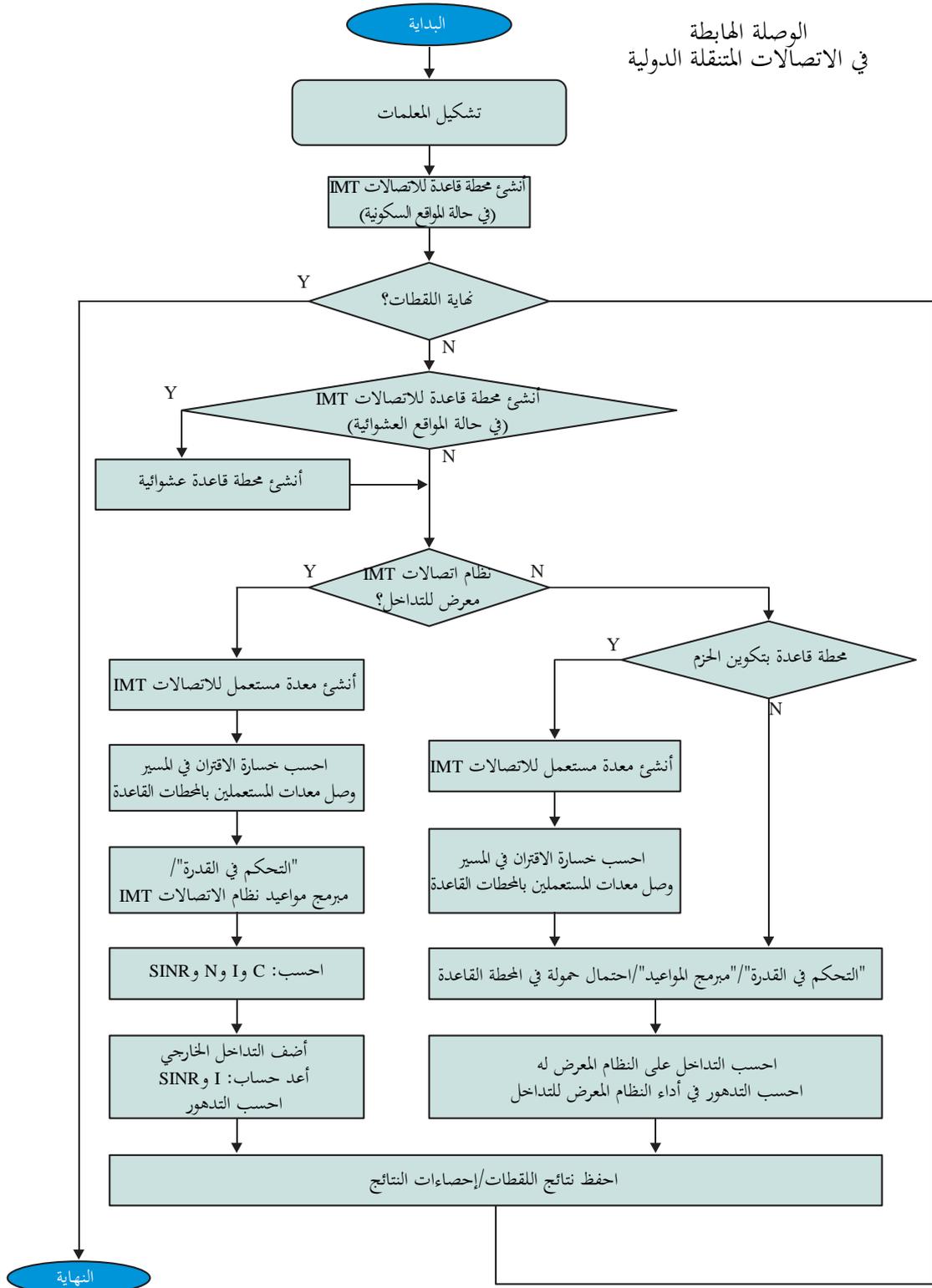
وهذا الأسلوب هو عملية محاكاة على مستوى النظام تستخدم على نطاق واسع في دراسات التقاسم والتوافق التي تشمل شبكات للاتصالات المتنقلة الدولية. وتستند هذه المنهجية إلى تحليل مونت كارلو الذي يمكّن من تقدير مدى أرجحية التداخل عن طريق محاكاة التداخل بين الأنظمة الناجم عن مصادر متعددة مسببة للتداخل في آن واحد. وتُجسّد نتيجة التقييم أيضاً التأثير الناجم عن تبين افتراضات الطوبولوجيا، وتباين خوارزميات التحكم في القدرة، وتباين كثافات توزيع المرسلات المسببة للتداخل. والجدير بالذكر أن أسلوب حساب تدهور أداء نظام - من غير أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية - معرض للتداخل، المبين في الشكلين 8 و 9، ونمذجة الأنظمة الأخرى، يقعان خارج مجال تطبيق هذه الوثيقة.

إن الأسلوب السكوني المبين أدناه يمكن أن يكون أساساً لنماذج أكثر تفصيلاً تأخذ في الاعتبار الزمن على سبيل المثال. ويراعي النموذج من هذا القبيل التباين في مستوى التداخل مقابل الزمن مثلاً في حالة معدات المستعملين المتحركة والمسببة للتداخل مع أنظمة للأرض من دون إعادة إرسال، ومثال على ذلك مستقبلات الإذاعة. ويرد أدناه المخطط الانسيابي المعتاد للمحاكاة السكونية.

الشكل 8

مخطط انسيابي لأسلوب المحاكاة في الوصلة الهابطة

الوصلة الهابطة
في الاتصالات المتنقلة الدولية



1.4.3 الوصلة الهابطة

أنشئ شبكة محطات قاعدة (إذا كانت سكونية ذات مواقع ثابتة) وفقاً لحالة الاستعمال المختارة/سيناريو النشر المختار. فيما يخص $i = 1$ بالنسبة لعدد اللقطات

1 ربما لا يكون هناك داعٍ لبعض الخطوات من أ) إلى و) في كل لقطه رهناً بالمسار المختار بالمخطط الانسيابي. أ) أنشئ/وَرِّع عقد المحطات القاعدة بصورة عشوائية في حالة وجود شبكة للمحطات القاعدة بما عقد لهذه المحطات موضوعة عشوائياً.

ب) وَرِّع عدداً كافياً² من معدات المستعملين بصورة عشوائية في منطقة النظام بالكامل بحيث يوزَّع نفس العدد K للمستعملين "المختارين" (معدات المستعملين التي تستقبل بيانات من المحطات القاعدة في هذه اللقطات) على كل خلية داخل هامش التمير (HO). وستعتمد القيمة K على حالة الاستعمال/سيناريو النشر، والتردد، وعرض النطاق. احسب خسارة الاقتران في المسير (الحد الأقصى {خسارة الانتشار+الخبو+قيم كسب الهوائي}، الحد الأدنى لخسارة الاقتران) من كل معدة مستعمل إلى جميع المحطات القاعدة. وإذا كانت شبكة المحطات القاعدة تستعمل منهجية الالتفاف، حدِّد أيضاً أصغر قيم لخسارة الاقتران بين معدات المستعملين والمحطات القاعدة.

ج) وصل معدة المستعمل عشوائياً بمحطة قاعدة تكون خسارة الاقتران في المسير فيها في حدود أقل خسارة للاقتران مضافاً إليها هامش التمير.

د) اختر عدد K من معدات المستعملين عشوائياً من بين جميع المعدات الموصولة بمحطة قاعدة واحدة لتكون المعدات "المختارة". وهذا العدد K من المعدات "المختارة" سترمجم مواعيده خلال اللقطه. وإذا استعمل تكوين الحزم، وجّه حزم المحطات القاعدة/معدات المستعملين المختارة نحو بعضها البعض.

هـ) وستوزَّع جميع وحدات الموارد (RB) المتاحة على معدات المستعملين "المختارة" وترمجم مواعيد كل معدة بنفس العدد n من وحدات الموارد. وبالتالي تكون القدرة المرسله للمحطة القاعدة لكل جهاز ثابتة.

و) ترسل المحطات القاعدة بقدرة كاملة أو تكون صامتة مع قيمة لاحتمال الحمل، أي يتم اختيار $x\%$ من المحطات القاعدة عشوائياً للإرسال، أما المحطات المتبقية فتظل صامتة. انظر الفقرة 6.

وقد تكون القيمة x عدداً وحيداً أو قد تُنتقى عشوائياً من مدى معين في كل لقطه.

وفيما يخص تلك المحطات القاعدة التي تقوم بالإرسال، تحسب قدرة كل معدة مستعمل³ على النحو التالي:

ترمز P_{BS}^{Max} إلى أقصى قدرة للإرسال في المحطة القاعدة

$M = n \times K$ هو عدد جميع وحدات الموارد المتاحة لكل محطة قاعدة

P_{BS}^{UE} هي قدرة الإرسال من المحطة القاعدة إلى معدة المستعمل "المختارة"

n هو عدد وحدات الموارد لكل جهاز،

$$(5) \quad P_{BS}^{UE} = P_{BS}^{Max} \frac{n}{M}$$

تابع حتى الخطوة 2 إذا كانت الوصلة الهابطة للاتصالات المتنقلة الدولية نظاماً مسبباً للتداخل.

2 "سيتم تحديد العدد الكافي من الأجهزة التي تُسقط (توزع) على أسلوب الإسقاط المستعمل، أي إذا كان الإسقاط العشوائي قد تمّ داخل منطقة تغطية كل محطة قاعدة أو كان قد تم عشوائياً داخل منطقة تغطية الشبكة بالكامل، وعلى العدد K الذي ينبغي أن يوزع لكل محطة قاعدة. وفي العادة، يتراوح العدد الكافي بين $2 * K$ و $10 * K$ من أجل تحقيق التوزيع المطلوب لكل محطة قاعدة وفقاً لأسلوب الإسقاط المستعمل."

3 كما هو مبين في المخطط الانسيابي، لا يقتضي مسير واحد محتمل إنشاء معدات مستعملين. ولهذا المسير، ضع $P_{BS}^{UE} = P_{BS}^{Max}$ لمواصلة الإجراء في الخطوتين 2 و 6.

تابع حتى الخطوة 3 إذا كانت الوصلة الهابطة للاتصالات المتنقلة الدولية نظاماً معرضاً للتداخل.

2 اختر الوصلة الهابطة في الاتصالات المتنقلة الدولية لتعمل بوصفها نظاماً مسبباً للتداخل.

أ) اختر عشوائياً $x\%$ من المحطات القاعدة وفقاً لحمولة النظام وظروف التداخل (النظام المسبب للتداخل الأقرب أو تداخل متراكم) لتعمل بوصفها نظاماً مسبباً للتداخل في اتجاه النظام المعرض للتداخل.

ب) بافتراض نمذجة النظام المعرض للتداخل، استعمل التداخل في اتجاه النظام المعرض للتداخل واحسب تدهور أدائه.

احسب التداخل الخارجي الناجم من كل وصلة هابطة لنظام الاتصالات المتنقلة الدولية على النظام المعرض للتداخل.

كّرر الأمر مع جميع المحطات القاعدة المختارة من $z=1$ إلى N_{cell} (عدد المحطات القاعدة المختارة في منطقة النظام)؛

كّرر الأمر مع جميع معدات المستعملين "المختارة" في محطات القاعدة المختارة من $k=1$ إلى K ، وبالتالي يمكن

حساب التداخل من المحطة القاعدة BS_j (عندما تُخدم عدة المستعمل رقم K) على النحو التالي:

$$(6) \quad I_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim}) = P_{BS}^{UE} \times CL_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim}) / ACIR_{linear}$$

حيث:

$CL_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim})$: خسارة الاقتران من المحطة القاعدة BS_j (عندما تُخدم عدة المستعمل رقم k)

في نظام الاتصالات المتنقلة الدولية إلى المستقبل المعرض للتداخل، حيث تشمل خسارة المسير، وخسارة اختراق المباني، والخبو، وكسب الهوائي في المرسل/المستقبل.

استعض عن نسبة قدرة التداخل في القنوات المجاورة $ACIR_{linear}$ بالرفض المعتمد على التردد FDR في حالة استعمال هذا الرفض.

$I_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim})$: التداخل بين الأنظمة الناجم عن المحطة القاعدة BS_j (عندما تُخدم عدة المستعمل

رقم k) في المستقبل المعرض للتداخل.

ويرمز للتداخل الإجمالي من خارج الأنظمة بما يلي:

$$(7) \quad I_{External} = \sum_j \sum_k I_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim})$$

حيث:

$I_{External}$: هو التداخل المتراكم من أنظمة خارجية على النظام المعرض للتداخل.

احسب تأثير التداخل الخارجي على النظام المعرض للتداخل. ويقع حساب التأثير على الأنظمة المعرضة للتداخل

من غير أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية خارج نطاق هذه التوصية ويعتمد على سيناريو التقاسم.

ج) تابع حتى الخطوة 6.

3 اختر الوصلة الهابطة في الاتصالات المتنقلة الدولية بوصفها نظاماً معرضاً للتداخل.

أ) اختر عشوائياً $x\%$ من المحطات القاعدة بحسب حمولة النظام.

ب) احسب نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل (C/I) للوصلة الهابطة فيما يخص جميع معدات المستعملين "المختارة".

كّرر الأمر مع جميع المحطات القاعدة المختارة من $z=1$ إلى N_{cell} (عدد المحطات القاعدة المختارة في منطقة النظام).

كّرر الأمر مع جميع معدات المستعملين "المختارة" في المحطات القاعدة من $k=1$ إلى K .

فيما يخص عدة المستعمل "المختارة" رقم k في الخلية رقم j (أي $UE_{j,k}$)، يُرمز للنسبة C/I الخاصة بها بما يلي: $\frac{C(j,k)}{I(j,k)}$

$C(j,k)$ هي القدرة المستقبلية من المحطة القاعدة التي تقدم الخدمة، أي المحطة القاعدة رقم j .

$$(8) \quad C(j,k) = P_{BS}^{UE} \times pathCouplingLoss(UE_{j,k}, BS_j)$$

$I(j,k)$ هي قدرة التداخل الذي يتكون من التداخل بين الأنظمة (من خلايا أخرى في نفس الشبكة) والضوضاء الحرارية N_t ، و $I_{intra}(j,k)$.

$$(9) \quad I(j,k) = I_{intra}(j,k) + N_t$$

$$(10) \quad I_{intra}(j,k) = \sum_{l=1, l \neq j}^{N_{cell}} P_{BS}^{UE} \times pathCouplingLoss(UE_{j,k}, BS_l)$$

$$(11) \quad N_t = 10^{((10 \log_{10}(kT) + 10 \log_{10}(bandwidth \text{ of } n \text{ RBs}) + NoiseFigure_{UE})/10)}$$

حيث $10 \log_{10}(kT)$ هي الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء بالوحدة dBm.

أضف التداخل الخارجي Z_y ، الذي يتكون من عدد من y من الأنظمة المسببة للتداخل والتي لكل منها القدرة $P_{ext,y}$. إذا لم يحدث التداخل سوى في خلية واحدة أو عدد قليل من الخلايا، لا بد من وضع التداخل الرئيسي في خلية نشطة (أي خلية ذات محطة قاعدة مختارة).

احسب النسبة $C/I = \frac{C(j,k)}{I(j,k)}$ لجميع معدات المستخدمين "المختارة" في الوصلة الهابطة المعرضة للتداخل الخارجي. $C(j,k)$ و $I_{intra}(j,k)$ و N_t هي نفسها كما في الخطوة 3.

$$(12) \quad I(j,k) = I_{intra}(j,k) + I_{external}(j,k) + N_t$$

$$(13) \quad I_{external}(j,k) = \sum_{m=1}^y P_{ext,m} \times pathCouplingLoss(Z_m, UE_{j,k}) / ACIR_{linear}$$

وينبغي حساب قيمة النسبة ACIR استناداً إلى عدد وحدات الموارد الموزعة لكل معدة مستعمل. استعض عن $ACIR_{linear}$ بالرفض القائم على التردد FDR في حالة استعماله.

حدّد الصبيب في كل معدة مستعمل "مختارة"، في وجود وعدم تداخل خارجي، بحساب النسبة C/I وفقاً للتقابل بين مستوى الوصلة ومستوى النظام.

اجمع الإحصاءات.

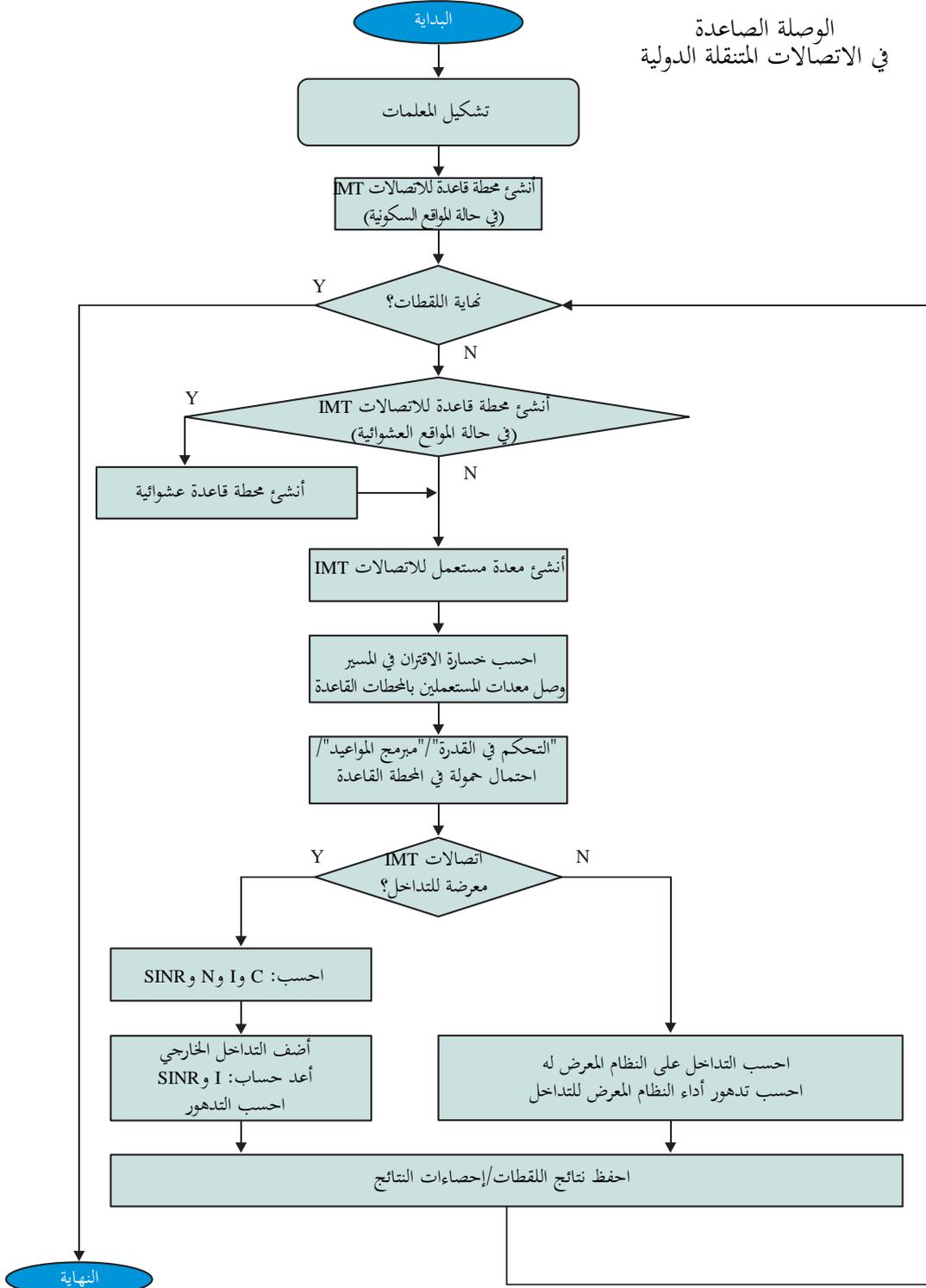
4

5

6

الشكل 9

المخطط الانسيابي لأسلوب المحاكاة في الوصلة الصاعدة



فيما يخص $i = 1$ إلى عدد اللقطات

- 1
 - أ) ربما لا يكون هناك داعٍ لبعض الخطوات من أ) إلى و) في كل لقطة رهناً بالمسار المختار بالمخطط الانسيابي.
 - ب) أنشئ/وَرِّع عقد المحطات القاعدة بصورة عشوائية في حالة وجود شبكة للمحطات القاعدة بما عقد لهذه المحطات موضوعة عشوائياً.
 - ج) وَرِّع عدداً كافياً⁴ من معدات المستعملين بصورة عشوائية في كل منطقة النظام بحيث يوزَّع نفس العدد K من المستعملين "المختارين" على كل محطة قاعدة في حدود هامش تمرير (HO) قيمته 3 dB. وتعتمد قيمة K على حالة الاستعمال/سيناريو النشر، والتردد، وعرض النطاق. ولا تزال تستعمل القيمة K في المدى من 3 إلى 6 في دراسات النطاق العريض المتنقل.
 - د) احسب خسارة الاقتران في المسير (الحد الأقصى {خسارة الانتشار+الخبو+قيم كسب الهوائي}، الحد الأدنى لخسارة الاقتران) من كل معدة مستعمل إلى جميع المحطات القاعدة. وإذا استعملت شبكة المحطات القاعدة منهجية الالتفاف، حدِّد أيضاً أصغر قيم لخسارة الاقتران بين معدات المستعملين والمحطات القاعدة.
 - هـ) اربط معدة المستعمل عشوائياً بمحطة قاعدة تكون خسارة الاقتران في المسير فيها في حدود أقل خسارة للاقتران مضافاً إليها هامش التمرير.
 - و) اختر عشوائياً عدد K من معدات المستعملين من بين جميع المعدات المربوطة بمحطة قاعدة واحدة لتكون معدات المستعملين "المختارة". وهذا العدد K من المعدات "المختارة" سترمَّح مواعيده خلال اللقطة.
 - ز) وتحدَّد القدرة لكل جهاز بالتحكم في قدرة الوصلة الصاعدة.
 - ح) ويفترض في محطة القاعدة أنها تعمل بحمل كامل، بمعنى أن توزَّع جميع وحدات الموارد على معدات المستعملين النشطة. وتُرمَّح مواعيد كل جهاز بنفس العدد n من وحدات الموارد. وقد تقوم معدات المستعملين الموصولة بمحطة قاعدة بالإرسال أو عدم الإرسال، بناءً على احتمال وجود حمولة، أي ترسل معدات المستعملين في $x\%$ من المحطات القاعدة المختارة عشوائياً، بينما تظل المعدات المتبقية صامتة. انظر القسم 6. وقد تكون القيمة x عدداً وحيداً وقد تُنتقى عشوائياً من مدى معين في كل لقطة.
 - 2
 - أ) نفَّذ التحكم في قدرة الوصلة الصاعدة.
 - ب) تابع حتى الخطوة 3 إذا كانت الوصلة الصاعدة في الاتصالات المتنقلة الدولية تعمل بوصفها نظاماً مسبباً للتداخل. وإذا كانت الوصلة الصاعدة للاتصالات IMT نظاماً معرضاً للتداخل، تابع حتى الخطوة 4.
 - 3
 - أ) اختر عشوائياً $x\%$ من المحطات القاعدة بحسب حمولة النظام وظروف التداخل (النظام المسبب للتداخل الأقرب، أو تداخل متراكم). اختر معدات المستعملين الموصولة بتلك المحطات القاعدة لتعمل بوصفها أنظمة مسببة للتداخل في اتجاه النظام المعرض للتداخل.
 - ب) طبق التداخل في اتجاه النظام المعرض له واحسب تأثيره:
- كُرِّر الأمر مع جميع المحطات القاعدة المختارة من $z = 1$ إلى N_{cell} (عدد المحطات القاعدة المختارة في منطقة النظام)؛ كُرِّر الأمر مع جميع معدات المستعملين "المختارة" في المحطات القاعدة المختارة من $k = 1$ إلى K .
- احسب التداخل الخارجي من كل وصلة صاعدة للاتصالات المتنقلة الدولية في النظام المعرض للتداخل.

⁴ "سيُعمد تحديد العدد الكافي من الأجهزة التي تُسقط (توزع) على أسلوب الإسقاط المستعمل، أي إذا كان الإسقاط العشوائي قد تمَّ داخل منطقة تغطية بل محطة قاعدة أو كان قد تم عشوائياً داخل منطقة تغطية الشبكة بالكامل، وعلى العدد K الذي ينبغي أن يوزع لكل محطة قاعدة. وفي العادة، يتراوح العدد الكافي بين $2 * K$ و $10 * K$ من أجل تحقيق التوزيع المطلوب لكل محطة قاعدة وفقاً لأسلوب الإسقاط المستعمل."

$$(14) \quad I_{External}(TX_{UE_k}^{BS_j}, RX^{victim}) = P_{UE_k}^{BS_j} \times CL_{External}(TX_{UE_k}^{BS_j}, RX^{victim}) / ACIR_{linear}$$

(استعض عن $ACIR_{linear}$ بالرفض القائم على التردد FDR في حالة استعماله.)

حيث:

$P_{UE_k}^{BS_j}$: قدرة الإرسال لمعدة المستعمل رقم k التي تخدمها المحطة القاعدة BS_j .
 $CL_{External}(TX_{UE_k}^{BS_j}, RX^{victim})$: خسارة الاقتران منعدة المستعمل رقم k التي تخدمها المحطة القاعدة BS_j إلى المستقبل المعرض للتداخل.
 $I_{External}(TX_{UE_k}^{BS_j}, RX^{victim})$: التداخل بين الأنظمة الناجم عنعدة المستعمل رقم k التي تخدمها المحطة القاعدة BS_j إلى المستقبل المعرض للتداخل.
ويستخلص التداخل المتراكم من نظام خارجي على النحو التالي:

$$(15) \quad I_{External} = \sum_j \sum_k I_{External}(TX_{UE_k}^{BS_j}, RX^{victim})$$

حيث:

$I_{External}$: التداخل المتراكم من نظام خارجي في اتجاه النظام المعرض للتداخل.
احسب التأثير الناجم عن التداخل الخارجي على النظام المعرض للتداخل. ويقع حساب التأثير على نظام من غير أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية معرض للتداخل خارج نطاق هذه التوصية ويعتمد على سيناريو التقاسم.

(ج) تابع حتى الخطوة 7.

اختر وصلة صاعدة في الاتصالات المتنقلة الدولية كمحطة معرضة للتداخل.

أ) اختر عشوائياً $x\%$ من المحطات القاعدة وفقاً لحمولة النظام.

ب) احسب نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل (CI) للوصلة الصاعدة فيما يخص جميع معدات المستعملين "المختارة" في جميع الخلايا.

كّرر الأمر مع جميع المحطات القاعدة المختارة من $j = 1$ إلى N_{cell} (عدد المحطات القاعدة المختارة في منطقة النظام).

كّرر الأمر مع جميع معدات المستعملين "المختارة" في المحطات القاعدة المختارة من $k = 1$ إلى K .

وفيما يخصعدة المستعمل "المختارة" رقم k في الخلية رقم j ($UE_{j,k}$)، يُشار إلى النسبة CI على النحو التالي: $\frac{C(j,k)}{I(j,k)}$

حيث:

$C(j,k)$: القدرة المستقبلية من $UE_{j,k}$ عند المحطة القاعدة رقم j .

$$(16) \quad C(j,k) = P_{PUSCH}(j,k) \times pathCouplingLoss(UE_{j,k}, BS_j)$$

$I(j,k)$ هي قدرة التداخل التي تتألف من التداخل بين الأنظمة (التداخل من معدات المستعملين الموزعة لنفس وحدات الموارد في الخلايا الأخرى في نفس الشبكة) $I_{intra}(j,k)$ ، والضوضاء الحرارية N_t .

$$(17) \quad I(j,k) = I_{intra}(j,k) + N_t$$

$$(18) \quad I_{intra}(j,k) = \sum_{l=1, l \neq j}^{N_{cell}} P_{PUSCH}(l,k) \times pathCouplingLoss(UE_{l,k}, BS_j)$$

$$(19) \quad N_t = 10^{\left((10 \log_{10}(kT) + 10 \log_{10}(\text{bandwidth of } n \text{ RBs}) + \text{NoiseFigure}_{BS}) / 10 \right)}$$

حيث $10\log_{10}(kT)$ هي الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء معبر عنها بالوحدة dBm.

5 أضف التداخل الخارجي Z_y الذي يتألف من عدد y من الأنظمة المسببة للتداخل بقدر P_{ext} لكل منها. إذا حدث التداخل في خلية واحدة أو عدد قليل من الخلايا، ينبغي وضع التداخل الرئيسي في خلية نشطة (أي خلية ذات محطة قاعدة مختارة).

احسب $\frac{C(j,k)}{I(j,k)} = C/I$ لجميع معدات المستعملين "المختارة".
 $C(j,k)$ و $I_{intra}(j,k)$ و N_t هي نفسها كما في الخطوة 4.

$$(20) \quad I(j,k) = I_{intra}(j,k) + I_{external}(j,k) + N_t$$

$$(21) \quad I_{external}(j,k) = \sum_{m=1}^y P_{ext,m} \times pathCouplingLoss(Z_m, BS_j) / ACIR_{linear}$$

وينبغي حساب قيمة ACIR استناداً إلى عدد وحدات الموارد الموزعة لكل معدة مستعمل. وينبغي الاستعاضة عن $ACIR_{linear}$ بالرفض القائم على التردد FDR في حالة استعماله.

$$(22) \quad N_t = 10^{((10\log_{10}(kT) + 10\log_{10}(bandwidth \text{ of } n \text{ RBs}) + NoiseFigure_{BS}) / 10)}$$

حيث $10\log_{10}(kT)$ هي الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء معبر عنها بالوحدة dBm.

6 حدّد الصيب في حالة وجود أو عدم وجود تداخل خارجي لكل معدة مستعمل "مختارة" مع قيمة للنسبة C/I وفقاً للتقابل بين مستوى الوصلة ومستوى النظام.

7 اجمع الإحصاءات.

4 تنفيذ التحكم في قدرة معدات المستعملين في الاتصالات المتنقلة الدولية

إن التحكم في القدرة هو سمة تقنية مهمة في أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية. وتحد مستويات التداخل الناجم عن معدات المستعملين الأخرى من سعة الخلية في الوصلة الصاعدة في الأنظمة القائمة على النفاذ المتعدد بالتقسيم التعامدي للتردد (OFDMA). وتُضبط مستويات خرج قدرة معدات المستعملين للحفاظ على الحد الأدنى من التداخل ولضمان تغطية حافة الخلية. ويمكن الجمع بين التحكم في القدرة واستراتيجيات توزيع الموارد الخاصة بالميدان الترددي لتحسين أداء حافة الخلية والكفاءة الطيفية.

والجدير بالذكر أن قدرة خرج المرسل في معدات المستعملين قد تكون أقل من الحد الأقصى لقدرة خرج المرسل في نطاق تردد الإرسال، وسيكون متوسط مستوى البث خارج النطاق (OOBE) أقل من المستوى الموصف للبث خارج النطاق.

1.4 خوارزمية التحكم في القدرة

في أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية-المتقدمة، تكون خوارزمية التحكم في قدرة معدات المستعملين التي يجب استعمالها في دراسات التقاسم على النحو التالي:

$$(23) \quad P_{PUSCH}(i) = \min(P_{CMAX}, 10\log_{10}(M_{PUSCH}(i)) + P_{O_PUSCH}(j) + \alpha(j) \cdot PL)$$

حيث:

P_{PUSCH} : قدرة إرسال المطراف معبر عنها بالوحدة dBm

P_{CMAX} : أقصى قدرة إرسال معبر عنها بالوحدة dBm

M_{PUSCH} : عدد وحدات الموارد الموزعة

P_{0_PUSCH} : القيمة المستهدفة للقادرة لكل وحدة موارد مستعملة معبر عنها بالوحدة dBm

α : عامل التوازن لمعدات المستعملين ذات القناة السيئة ومعدات المستعملين ذات القناة الجيدة

PL : خسارة المسير في معدات المستعملين من محطة القاعدة التي تخدمها بالوحدة dB

ومن المتوقع في أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية-2020 أن تكون خوارزمية التحكم في قدرة معدات المستعملين مماثلة لتلك المستعملة في شبكات الاتصالات المتنقلة الدولية-المتقدمة.

5 تنفيذ مخطط الهوائي المكوّن للحزم في المحطات القاعدة ومعدات المستعملين في الاتصالات المتنقلة الدولية

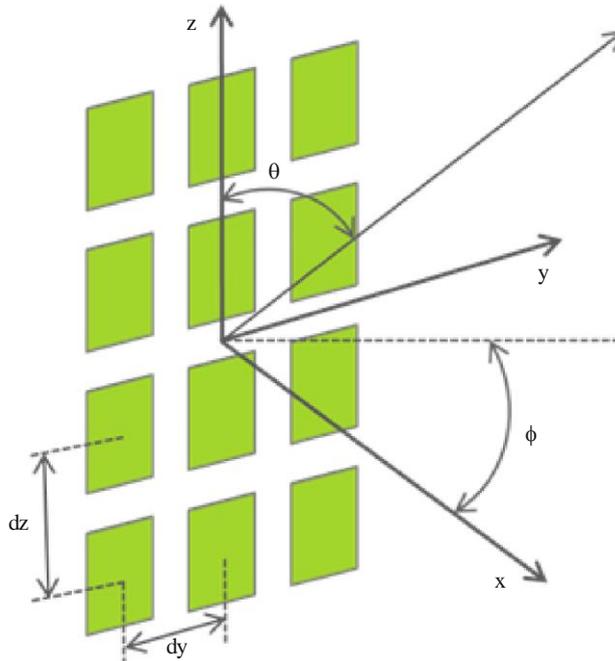
استعملت التوصية ITU-R F.1336 في السابق لدى إجراء دراسات التقاسم (انظر التقرير ITU-R M.2292) وربما يكون من الممكن تطبيقها على بعض سيناريوهات الاتصالات المتنقلة الدولية. وسيستعمل معظم أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية-2020 تكوين الحزم في الترددات الأعلى على وجه الخصوص.

ويرتكز الهوائي المكوّن للحزم على صفيّ من الهوائيات ويتألف من عدد من العناصر المشعة المتطابقة المثبتة في المستوى yz مع وجود مسافة فصل ثابتة (مثلاً $2/\lambda$)، مع العلم بأن جميع العناصر مخططات إشعاع متطابقة "مع التسديد" (لها اتجاهية قصوى) على طول المحور x. وتستخدم دالة ترجيح لتوجيه الحزمة في مختلف الاتجاهات. والكسب الإجمالي للهوائي هو حاصل جمع (مقياس لوغاريتمي) كسب الصفيّ وكسب العناصر. ويبيّن هذا النموذج في المواصفة 3GPP TR 37.842 والقسم 1.4.4.5 من المواصفة 3GPP TR 37.840 على النحو التالي:

يستند تعريف الزاويتين θ و ϕ إلى نظام الإحداثيات وهما موضحتان في الشكل 10.

الشكل 10

هندسة نموذج الهوائي، θ : زاوية الارتفاع، تتراوح بين 0 و 180 درجة
 ϕ : زاوية السمّ، تتراوح بين -180 و 180 درجة



تثبت عناصر الإشعاع بانتظام على طول المحور الرأسي z في نظام الإحداثيات الديكارتي. ويشير المستوى x-y إلى المستوى الأفقي. ويُرمز إلى زاوية ارتفاع اتجاه الإشارة بالرمز θ (وتحدد ما بين 0° إلى 180° ، وتمثل الزاوية 90° زاوية عمودية على فتحة الهوائي الصفيفي). ويرمز إلى زاوية السميت بالرمز φ (وتحدد ما بين 180° و -180°).

وثمة اختلاف بين نظام هوائيات منفعل (كالنظام المستند إلى التوصية ITU-R F.1336 مثلاً) ونظام الهوائيات المتقدم النشط (AAS) يتمثل في أنه في حالة النظام AAS، ينطوي البث غير المرغوب فيه (خارج النطاق) على سلوك مختلف للهوائيات مقارنة بالبث المرغوب فيه (داخل النطاق).

وفي نظام الاتصالات المتنقلة الدولية، سيتحكم استعمال النظام AAS تحكماً نشطاً في جميع الإشارات الفردية التي يُغذى بها كل عنصر من عناصر الهوائيات في الصفييف لتشكيل وتوجيه مخطط بث الهوائي نحو شكل مرغوب، مثل حزمة ضيقة في اتجاه مستعمل. بمعنى أن النظام ينشئ بثاً مترابطاً ومرغوباً فيه من الهوائي. وفيما يخص الإشارة غير المرغوب فيها الناجمة عن التشكيل خارج النطاق في المرسل، ومنتجات التشكيل البيئي، ومكونات البث الهامشي، فلن ينطبق عليها نفس الوضع المترابط من الهوائيات وسيكون لها مخطط بث مختلف. وللنظام AAS غير المترابط مخطط بث خاص بالهوائيات مشابه لعنصر هوائي وحيد.

وفي حالة نطاق ترددات مجاور تكون فيه الاتصالات المتنقلة الدولية نظاماً مسبباً للتداخل، يمكن افتراض أن لمخطط الهوائيات الخاص بالبث غير المرغوب فيه مخطط هوائيات مماثل لعنصر هوائي وحيد. وفيما يخص البث الخاص بنظام الاتصالات المتنقلة الدولية داخل عرض نطاق القناة، ينبغي محاكاة مخطط الهوائي المركب.

وفي حالة نطاق ترددات مجاور تكون فيه الاتصالات المتنقلة الدولية نظاماً معرضاً للتداخل عند حساب تداخل القناة المجاورة، يمكن افتراض أن مخطط الهوائيات يماثل عنصر هوائي وحيد. وفيما يخص التداخل في عرض نطاق القناة في نظام الاتصالات المتنقلة الدولية، ينبغي محاكاة مخطط الهوائي المركب.

ويحدد نموذج صفييف الهوائيات في النظام AAS بواسطة مخطط عنصر الصفييف وعامل الصفييف والإشارات المطبقة على نظام الصفييف. ويرد في القسم أدناه وصف لمخطط العنصر ومخطط الهوائي المركب.

1.5 مخطط العنصر

الجدول 3

مخطط العنصر لنموذج صفييف الهوائيات

$A_{E,H}(\varphi) = -\min \left[12 \left(\frac{\varphi}{\varphi_{3dB}} \right)^2, A_m \right] \text{ dB}$	مخطط الإشعاع الأفقي
معلمة دخل	عرض نطاق أفقي (3 dB) لعنصر وحيد/الزاوية (φ_{3dB})
معلمة دخل	نسبة الإشعاع الأمامي إلى الإشعاع الخلفي: SLA_v و A_m
$A_{E,V}(\theta) = -\min \left[12 \left(\frac{\theta - 90}{\theta_{3dB}} \right)^2, SLA_v \right] \text{ dB}$	مخطط الإشعاع الرأسي
معلمة دخل	عرض نطاق رأسي (3 dB) لعنصر وحيد/الزاوية (θ_{3dB})
$A_E(\varphi, \theta) = G_{E,\max} - \min \{ - [A_{E,H}(\varphi) + A_{E,V}(\theta)], A_m \}$	مخطط عنصر وحيد
معلمة دخل	كسب العنصر ($G_{E,\max}$ ، (dBi))

2.5 مخطط الهوائي المركب

يبيّن الجدول 4 اشتقاق مخطط الهوائي المركب $A_A(\theta, \varphi)$ و $A_E(\theta, \varphi)$ هو مخطط الهوائي المكون للحزم الناتج عن المجموع اللوغاريتمي لكسب الصفييف، $10 \log_{10} \left(\sum_{m=1}^{N_H} \sum_{n=1}^{N_V} w_{i,n,m} \cdot v_{n,m} \right)^2$ ، وكسب العنصر $A_E(\theta, \varphi)$. وينبغي استعمال المخطط المركب لهوائي المخطط القاعدة عندما يخدم الصفييف معدة واحدة أو أكثر من معدات المستعملين بحزمة واحد أو أكثر من الحزم التي يُشار إلى كل منها بالمعلمة i .

الجدول 4

مخطط الهوائي المركب لتكوين الحزم في المحطة القاعدة ومعدات المستعملين

التشكيلة	أعمدة متعددة (عدد $N_H \times N_V$ من العناصر)
	فيما يخص الحزمة i :
	$A_{A,Beami}(\theta, \varphi) = A_E(\theta, \varphi) + 10 \log_{10} \left(\sum_{m=1}^{N_H} \sum_{n=1}^{N_V} w_{i,n,m} \cdot v_{n,m} \right)^2$
	ويُستخلص متجه موقع فوق كما يلي:
	$v_{n,m} = \exp \left(\sqrt{-1} \cdot 2\pi \left((n-1) \cdot \frac{d_V}{\lambda} \cdot \cos(\theta) + (m-1) \cdot \frac{d_H}{\lambda} \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi) \right) \right),$
	$n = 1, 2, \dots, N_V; m = 1, 2, \dots, N_H;$
	ويُستخلص الترجيح كما يلي:
	$w_{i,n,m} = \frac{1}{\sqrt{N_H N_V}} \exp \left(\sqrt{-1} \cdot 2\pi \left((n-1) \cdot \frac{d_V}{\lambda} \cdot \sin(\theta_{i,elit}) - (m-1) \cdot \frac{d_H}{\lambda} \cdot \cos(\theta_{i,elit}) \cdot \sin(\varphi_{i,escan}) \right) \right) \sqrt{}$
تشكيلة صفيق الهوائيات (الصف \times العمود)	معلمة دخل
المباعدة الأفقية بين العناصر المشعة d/λ	معلمة دخل
المباعدة الرأسية بين العناصر المشعة d/λ	معلمة دخل
زاوية الإمالة نحو الأسفل (بالدرجات)	معلمة دخل

6 تطبيق معلومات حركة الاتصالات المتنقلة الدولية

فيما يخص معظم دراسات محاكاة مونت كارلو، التي تضم أنظمة للاتصالات المتنقلة الدولية المتقدمة، يفترض نموذج لحركة مخزونة بأكملها. ويكافئ هذا الافتراض افتراض أن المحطات القاعدة ترسل/تستقبل على الدوام باستعمال جميع وحدات الموارد. ويبيّن التقرير ITU-R M.2241 أن هذا الوضع لا ينطبق على شبكات تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM) المنشورة لأن إرسال 100% من وحدات موارد الترددات في 100% من الوقت يؤدي إلى تشبع الخلية وتوقف الخدمة عن العديد من المستعملين. وعليه، فإن المحطات القاعدة ترسل فقط باستعمال الجزء المتاح فقط من وحدات الموارد في معظم الوقت.

وتفصّل في هذه التوصية (الفقرة 7) الإرشادات اللازمة لتوضيح السلوك الفعلي لشبكات الاتصالات المتنقلة الدولية بصورة أفضل، بصرف النظر عما إذا كان نظام الاتصالات المتنقلة الدولية نظاماً معرضاً للتداخل أم كان يعمل بوصفه نظاماً مسبباً للتداخل المتراكم.

ويعتمد التحميل في شبكة للاتصالات المتنقلة الدولية على عدد من العوامل من قبيل سلوك المستعمل، والتطبيقات، وسيناريوهات النشر. ولغرض التبسيط، تجرى نمذجة حمولة الشبكة بأن تعدّل إحصائياً بحيث تقوم المحطات القاعدة ذات الحمولة الكاملة بالإرسال جميعها و/أو عدد منها في آن واحد. وعُرض هذا الأمر بوصفه عامل نشاط في المحطات القاعدة في وثائق قطاع الاتصالات الراديوية ذات الصلة، مثل التقرير ITU-R M.2292. وقد تعتمد نمذجة حمولة شبكة الاتصالات المتنقلة الدولية على سيناريو التقاسم. مثلاً، نمذجة حمولة الشبكة عند نمذجة التداخل ربما تعتمد على عوامل مثل مساحة المنطقة التي يتراكم فوقها التداخل.

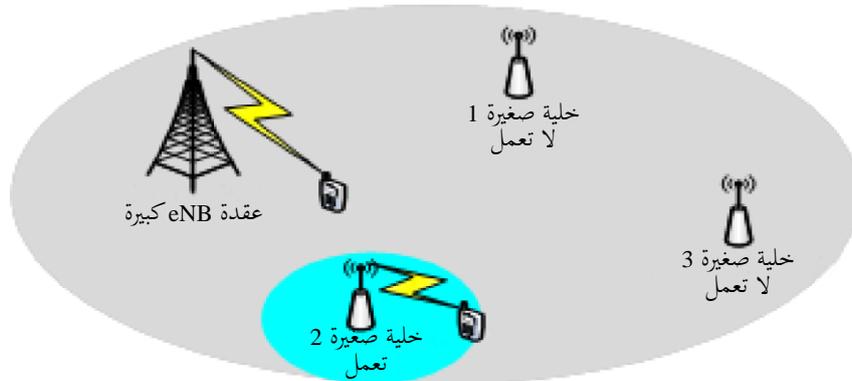
7 تحديد التداخل المتراكم

تحسب تشكيلة المحاكاة المبيّنة في الفقرة 3 من هذه التوصية التداخل المتراكم من مختلف المحطات القاعدة و/أو معدات المستخدمين. وعليه، يمكن استنتاج أن المحاكى بطبيعته يحسب دوماً التداخل المتراكم من شبكة الاتصالات المتنقلة الدولية على النظام المعرض للتداخل. لكن، بناءً على سيناريو التعايش، ينبغي أيضاً دراسة المسائل المذكورة أدناه.

- تُجرى نمذجة المحطات القاعدة باعتبار أنها ترسل بقدرة كاملة أو أنها لا ترسل بالمرّة مع احتمال وجود حمولة، أي يتم اختيار $x\%$ من المحطات القاعدة عشوائياً لترسل أما المحطات المتبقية فلا ترسل. انظر الفقرة 6. وقد تكون القيمة x عدداً وحيداً وقد تُنتقى عشوائياً من مدى محدد في كل لقطة.
- وفي تلك الحالات التي تتطلب فيها دراسات التقاسم عمليات محاكاة مع عدد كبير جداً من محطات الاتصالات المتنقلة الدولية، قد يستغرق التنفيذ المباشر للنمذجة المبيّنة أعلاه وقتاً طويلاً للغاية. وفي تلك الحالات، يمكن نمذجة وجمع إحصاءات إرسالات نظام الاتصالات المتنقلة الدولية من شريحة كبيرة تمثّل شبكة الاتصالات المتنقلة الدولية. ويجوز أن تستعمل الإحصاءات التي تجمع من هذه الشريحة في حساب التداخل الناجم عن شرائح متعددة ذات خصائص مكافئة من حيث التداخل مع الأخذ بعين الاعتبار تباين سيناريوهات النشر لأنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية عبر المناطق الواسعة بالكامل. وينبغي الاهتمام بتجسيد التباين في زوايا التداخل عند الوصول إلى النظام المعرض للتداخل ومغادرته مع مراعاة جغرافيا المنطقة الواسعة. وينبغي التشديد على أنه لا ينبغي أن يؤدي أي تبسيط في التنفيذ إلى انحراف في الإحصاءات الناتجة المتعلقة بإرسالات نظام الاتصالات المتنقلة الدولية مقارنة بالتطبيق المباشر لهذه المنهجية.
- ويمكن تشغيل/وقف تشغيل الخلايا الصغيرة في الاتصالات المتنقلة الدولية في نطاقات زمنية كبيرة بطريقة شبه سكونية أو دينامية، الأمر الذي قد يؤثر في احتمال وجود حمولة. وقد يشمل ذلك إدراج الوقت في عملية المحاكاة. ويمكن لمخطط التشغيل/وقف التشغيل أن يحد من التداخل على الخلايا الصغيرة المجاورة الأخرى أو الأنظمة الأخرى عند استعمال نفس قناة التردد أو قناة تردد مجاورة (انظر الشكل 11). وفضلاً عن ذلك، فإن مخططات تشغيل/وقف تشغيل الخلية الصغيرة قد ينتج عنها فوائد من حيث توفير الطاقة. ويمكن الاطلاع على معلومات مفصلة ذات صلة عن هذه التكنولوجيا في المواصفات 3GPP RP-130811 [3]، و 3GPP TR 36.873 [4] و 3GPP TR 36.897 [5] و 3GPP TR 36.872 [1].

الشكل 11

مخطط تشغيل/وقف تشغيل الخلية الصغيرة



- وإذا كان من المقرر محاكاة تشغيل الإرسال المزدوج بتقسيم الزمن (TDD)، يحدث الإرسال في الوصلة الهابطة بالمحطة القاعدة في جزء من الوقت فقط، الأمر الذي يخفض من القدرة المتوسطة للمحطة القاعدة على امتداد الرتل. لكن، لا يؤخذ هذا التأثير في الحسبان في النمذجة المبينة في هذه التوصية.

وسيكون نشر الشبكات أكثر مرونة في المستقبل وذلك بفضل تنوع متطلبات الخدمة؛ تحدث حركة معدلات البيانات العالية بصورة رئيسية فقط في مناطق بؤر التوصيل المنفصلة، لذا يجوز الأخذ في الاعتبار التداخل الجزئي من المنطقة عند حساب التداخل المتراكم.

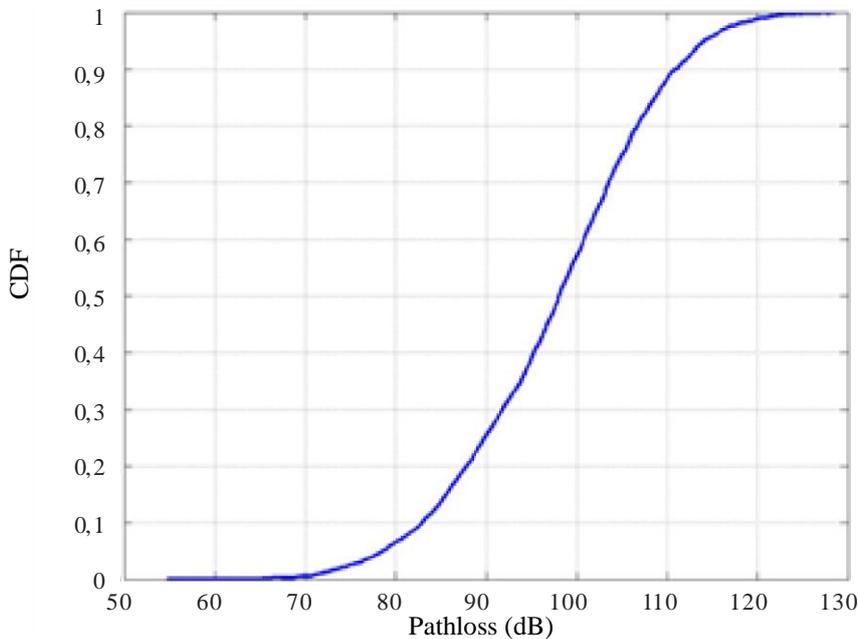
8 توضيح النتائج المؤقتة لنمذجة الاتصالات المتنقلة الدولية

في نمذجة أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية، من المحتمل أن تؤدي نفس الدراسة التي تجريها أطراف مختلفة نتائج مختلفة أول الأمر. وحتى يمكن مقارنة عمليات تنفيذ المحاكى في نظام الاتصالات المتنقلة الدولية، من الممكن استعمال بعض النتائج الوسيطة. ومن أمثلة المعلومات من هذا القبيل:

- توزيع قدرة الإرسال.
 - توزيع التداخل الداخلي والخارجي.
 - توزيع نسبة الإشارة إلى التداخل والضوضاء (SINR).
 - توزيع القدرة المستقبلية.
 - توزيع خسارة الاقتران في المسير (ويشمل هذا كسب هوائي المرسل، وكسب هوائي المستقبل، وخسارة الانتشار، والخبو، إلخ).
- ويوصى بالحصول على نتيجتين مؤقتتين على الأقل للمعلومات أعلاه. ويبيّن الشكل 12 أدناه مثلاً توضيحياً للنتيجة المؤقتة لتوزيع خسارة المسير. وينبغي دراسة النتائج المؤقتة من هذا القبيل جنباً إلى جنب مع المجموعة الكاملة لمعلومات الدخل. كما يمكن الحصول على نتائج أخرى بطريقة مماثلة.

الشكل 12

مثال على توزيع خسارة المسير من محاكاة لشبكة للاتصالات المتنقلة الدولية



- [1] 3GPP TR 36.872 V12.1.0, Small cell enhancements for E-UTRA and E-UTRAN (Release 12).
- [2] 3GPP TR 25.942 V10.0.0, Radio Frequency (RF) system scenarios (Release 10).
- [3] 3GPP RP-130811, 3GPP Work Item Description, Study on 3D-channel model for Elevation Beamforming and FD-MIMO studies for LTE.
- [4] 3GPP TR 36.873 V12.0.0, Study on 3D channel model for LTE (Release 12).
- [5] 3GPP TR 36.897 V0.3.1, Elevation Beamforming/Full-Dimension (FD) MIMO for LTE (Release 13).
- [6] 3GPP TS 36.104 V12.7.0, Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 12).
- [7] 3GPP TS 36.101 V12.7.0, User Equipment (UE) radio transmission and reception (Release 12).
- [8] H. Houas, Y. Louet, E. Fournier and Y. Maigron, *Distribution of microcells for cellular mobile networks*, *IEEE VTC Nanjing, 15-18th May 2016*.

المرفق 1 بالملاحق 1

اعتبارات بشأن المعلمات المتسببة في توزيع تباين غاما (بيسيل) في مواقع المحطات القاعدة الصغيرة

عند توزيع مواقع خلايا صغيرة داخل منطقة خلوية كبيرة،

1 لا بد من تحديد (متوسط) عدد المجموعات التي تشمل هذه الخلايا الصغيرة داخل هذه المنطقة. ويمكن اشتقاق هذه المعلمة بأن تُدرَس مبدئياً خارطة لمحطات القاعدة الكبيرة (ذات الشكل السداسي) التي يمكن وضع مجموعة (من الخلايا الصغيرة) عليها. وهذه المعلمة تقابل λ_p .

2 وينبغي افتراض (متوسط) عدد الخلايا الصغيرة داخل كل مجموعة. وهو يقابل λ_o .

3 [1]⁵ يشير إلى أن المعلمة γ تختلف في المدى [0,3-، 0,45-]. وعليه يوصى بالعمل بالقيم الدنيا/القصى في هذا المدى.

4 وتحتاج المعلمة الأخيرة، ω ، مزيداً من الدراسة حتى يمكن اشتقاقها على النحو المناسب:

'1' المرحلة 1: ثمة معلمة أخرى، يسهل تحديدها لأنها تجسد معنى مادياً وهي نصف قطر المجموعة (المتوسط)، ويطلق عليها R . ويمكن فهمها على أنها نصف قطر المنطقة (مساحة دائرية مفترضة) الواقعة بها الخلايا الصغيرة (على الأرجح، في وجود احتمال كبير) لتوفير التطبيق المتوقع من أجل المستعمل. ويفترض في نصف القطر هذا وجود مركز يقابل مركز المجموعة.

'2' المرحلة 2: بما أن نصف القطر R الخاص بالمجموعة يُشتق في الأصل من الدالة R^6 عبر باستخدام معلمتي الدخل ω و γ وبما أن المعلمة γ معلومة بينما المعلمة ω غير معلومة، إذن من الممكن إنشاء جدول بحث ينسب لكل زوج (R ، γ) المقياس غير المعلوم ω .

وتمكّن هذه المعلمات الأربع من إعداد مجموعة عشوائية من العينات NSVGP، مع العلم بأن بناء العملية يُجرى أولاً من خلال توليد عملية نقطة بواسون للنقاط "الأصلية" (أي مراكز المجموعات) بكثافة λ_p . ثم يُستعاض عن كل نقطة أصلية بمجموعة عشوائية من النقاط، حيث يكون عدد النقاط في كل مجموعة عشوائياً بتوزيع بواسون (λ_o)، وتوضع النقاط بشكل مستقل ومنتظم وفقاً لكرنيل تباين غاما الذي يُحدّد وفقاً للمعلمتين γ و ω .

وبعد الانتهاء من وصف المعلمات التي تؤدي إلى هذا التوزيع، يتسنى بعد ذلك وصف توزيع بيسيل غاما للتباين إحصائياً (من خلال دالة كثافة الاحتمال (pdf)). وبملاحظة أن النقاط الوليدة داخل كل مجموعة تنشأ باتباع توزيع معياري مزيج للتباين المتوسط،

أي بتوزيع معياري مختلط مع توزيع غاما بدالة كثافة الاحتمال (pdf) التالية: $f(x; k, \theta) = \frac{x^{k-1} e^{-\frac{x}{\theta}}}{\Gamma(k)\theta^k}$

$$\Gamma(k) = \frac{e^{-\gamma k}}{k} \prod_{n=1}^{+\infty} \left(1 + \frac{k}{n}\right)^{-1} e^{\frac{k}{n}} \text{ and } \gamma = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\sum_{k=1}^n \frac{1}{k} - \ln(n)\right), \text{ حيث}$$

ويمكن ملاحظة أن المعلمتين θ و k مرتبطتان بالمعلمات الأخرى المبينة في الأقسام السابقة عبر المعادلة التالية: $1 + \gamma = k$ و $\theta = \frac{1}{2\omega^2}$.

5 توزيع المحطات القاعدة ذات الخلايا الصغيرة داخل الشبكات الخلوية، IEEE VTC، مايو 2016، نانجينغ.

6 من اللغة الروسية (الحزمة spatstat، <http://spatstat.github.io>).

المرفق 2 بالملاحق 1

تقنية الالتفاف

من الضروري دراسة الشبكة الخلوية اللامتناهية من أجل تحليل سلوك الشبكة الخلوية من دون إحداث أي مظاهر خلل بسبب القيود المتمثلة في التأثيرات الحدودية. وأحد الطرق لتحقيق ذلك هو استعمال تقنية "الالتفاف" حيث تلتف المجموعة الأصلية من الخلايا لتشكيل سطح حَلَقِي.

ولتوضيح طبيعة هيكل خلية الالتفاف، تتكرر مجموعة من 19 موقعاً من مواقع المحطات القاعدة (57 خلية) ست مرات على النحو المبين في الشكل 13. ويلاحظ أن مجموعة الخلايا الأصلية تظل في المركز بينما تحيط المجموعات الست بهذه المجموعة المركزية على نحو متساوٍ.

وفي نموذج الالتفاف موضع الدراسة، تعامل الإشارة أو التداخل من أي محطة متنقلة على خلية ما كما لو أن تلك المحطة المتنقلة تقع في مجموعة الخلايا الأصلية بينما تقع المحطة القاعدة في أي مجموعة من المجموعات السبع. ويمكن الحصول على خسارة الاقتزان في المسير من أي محطة متنقلة إلى أي محطة قاعدة على النحو التالي:

1 حدّد نظاماً للإحداثيات بحيث يقع مركز الخلية 0 على نقطة الأصل (0,0).

2 تكون مسافات وزوايا المسير المستعملة في حساب قيم الخسارة في المسير وقيم كسب الهوائي في محطة متنقلة تقع على (x,y) إلى محطة قاعدة تقع على (a,b) كما يلي:

المسافة بين (x,y) و (a,b)؛

المسافة بين (x,y) و $(a+3,5 * D, b+1,5 * \sqrt{3} * D)$ ؛

المسافة بين (x,y) و $(a-0,5 * D, b+2,5 * \sqrt{3} * D)$ ؛

المسافة بين (x,y) و $(a-4 * D, b+\sqrt{3} * D)$ ؛

المسافة بين (x,y) و $(a-3,5 * D, b-1,5 * \sqrt{3} * D)$ ؛

المسافة بين (x,y) و $(a+0,5 * D, b-2,5 * \sqrt{3} * D)$ ؛

المسافة بين (x,y) و $(a+4 * D, b-\sqrt{3} * D)$ ،

حيث D هي المسافة بين موقعين لمحطتين قاعدة.

3 وتُحسب قيم خسارة الاقتزان (الحد الأقصى {خسارة الانتشار + الخبو + قيم كسب الهوائي، الحد الأدنى لخسارة الاقتزان}) لمسافات/زوايا المسير المبينة أعلاه ويتم اختيار أدنى قيمة لاستعمالها في لقطة المحاكاة.

الشكل 13

الالتفاف من خلال 7 مجموعات من 19 موقعاً للمحطات القاعدة (57 خلية)
تبيّن الطبيعة الحلقية لسطح الالتفاف

