

ITU-R F.1704 التوصية

خصائص الأنظمة اللاسلكية الثابتة من نقاط متعددة إلى نقاط متعددة ذات طوبولوجيا شبكة متشابكة

والعاملة في نطاقات تردد أعلى من حوالي 17 GHz

(المسألة ITU-R 107/9)

(2005)

النطاق

تقدم هذه التوصية إرشادات بشأن تشكيل وخصائص الأنظمة اللاسلكية الثابتة من نقاط متعددة إلى نقاط متعددة ذات طوبولوجيا الشبكة المتشابكة والعاملة في نطاقات تردد أعلى من حوالي 17 GHz. ويرد في الملحق تحليل لتحسينات التيسر وخفض قدرة الإرسال وتأثير تنوع الطرق والوظيفة المطلوبة بالنسبة لأنظمة النقاط المتعددة إلى النقاط المتعددة.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات (ITU)

إذ تضع في اعتبارها

- أ) أن الأنظمة اللاسلكية الثابتة تعمل في نطاقات تردد مختلفة أعلى من 17 GHz؛
- ب) وأن الإدارات تطبق في الوقت الحاضر تقنيات مختلفة لاستخدام هذه الترددات؛
- ج) وأن خصائص انتشار الموجات الراديوية الأعلى من حوالي 17 GHz يحكمها إلى حد بعيد الخبو الناجم عن التهطل والامتصاص، وأما لا تناسب إلا تطبيقات الأنظمة الراديوية قصيرة المدى في البلاد المتأثرة بالمطر (انظر التوصية ITU-R P.837)؛
- د) وأن من المعروف أن خصائص انتشار الموجات الراديوية في هذه الترددات تختلف من بعض الجوانب عن خصائص الترددات الأدنى، وأن بعض هذه الاختلافات يمكن استغلالها لصالح أنواع معينة من الأنظمة؛
- هـ) وأن تصميمات التجهيزات قد تختلف عن التصميمات المستخدمة في نطاقات الترددات الأدنى؛
- و) وأنه يجري استخدام تطبيقات وتشكيلات شبكية جديدة في نشر الأنظمة اللاسلكية الثابتة على نحو شديد الكثافة في نطاقات أعلى من حوالي 17 GHz؛
- ز) وأن التركيز الشديد لمستخدمي الخدمة في المناطق الحضرية والضواحي والمناطق الصناعية يتطلب نشر مطاريف المستخدمين على نحو شديد الكثافة في هذه المناطق؛
- ح) وأن الأنظمة من نقاط متعددة إلى نقاط متعددة ذات طوبولوجيا الشبكة المتشابكة ستكون فعالة بسبب إمكانياتها بالنسبة لتعدد الطرق؛
- ط) وأن من الممكن في ظل ظروف معينة اعتبار الأنظمة من نقاط متعددة إلى نقاط متعددة ذات طوبولوجيا الشبكة المتشابكة تقنية فعالة لتحسين التيسر و/أو خفض قدرة الإرسال في نشر الأنظمة الراديوية الثابتة العاملة في نطاقات تردد أعلى من حوالي 17 GHz،

توصي

بأن يستخدم الملحق 1 كمصدر للإرشادات بشأن تشكيل خصائص الأنظمة من نقاط متعددة إلى نقاط متعددة ذات طوبولوجيا الشبكة المتشابكة والعاملة في نطاقات تردد أعلى من حوالي 17 GHz.

الملحق 1

تشكيل وخصائص الأنظمة من نقاط متعددة إلى نقاط متعددة ذات طوبولوجيا الشبكة المتشابهة
والعاملة في نطاقات تردد أعلى من حوالي 17 GHz

1 مقدمة

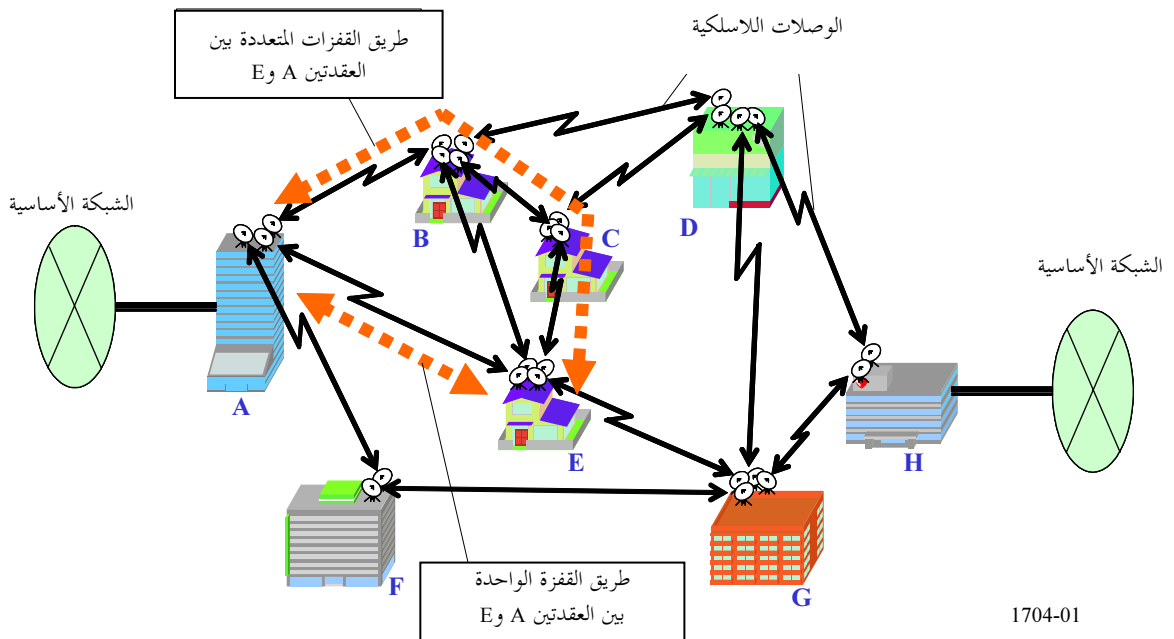
يعد استخدام الأنظمة من نقاط متعددة إلى نقاط متعددة ذات طوبولوجيا الشبكة المتشابهة وسيلة فعالة للتخفيف من النخاط نوعية الاتصالات في الأنظمة اللاسلكية الثابتة العاملة في نطاقات تردد أعلى من حوالي 17 GHz. ويتضمن هذا الملحق استعراضاً عاماً لتشكيل النظام بالنسبة للأنظمة من نقاط متعددة لنقاط متعددة ذات طوبولوجيا الشبكة المتشابهة، ويبين نتائج التحليل الكمي بشأن تحسين التيسر وخفض قدرة الإرسال بسبب كسب التنوع باستخدام طوبولوجيا الشبكة المتشابهة. كما بينت المتطلبات الوظيفية للنظام من أجل زيادة تأثير تنوع الطرق، وأمثلة عملية للوظائف المطلوبة. يضاف إلى ذلك أن النتائج التحريبية الميدانية بشأن كسب التنوع قد أوردت (انظر التذييل 1 لهذا الملحق).

2 استعراض عام لتشكيل النظام

يوضح الشكل 1 مثلاً لنظام من نقاط متعددة إلى نقاط متعددة ذي طوبولوجيا الشبكة المتشابهة. وتتألف الشبكة المتشابهة اللاسلكية من عقد لا سلكية هي مواقع للعملاء، أو عقد ترحيل بدون حركة مغادرة/انتهائية، أو نقاط سطح بيني إلى شبكات أخرى مثل شبكات مقدمي خدمات الإنترنت. وترتبط العقدة اللاسلكية بنقاط أخرى عن طريق وصلات لا سلكية. وتنتقل الحركة من طرف إلى طرف عبر طريق القفزة الواحدة و/أو القفزات المتعددة. وبينما يتألف طريق القفزة الواحدة من وصلة لا سلكية واحدة، فإن طرق القفزات المتعددة تتألف من عدة وصلات لا سلكية. ومن الممكن اعتبار الشبكة بأسرها كنظام من نقاط متعددة إلى نقاط متعددة. وعندما تتضمن الشبكة طريق تنوع واحد على الأقل يشار إلى النظام على وجه التحديد بوصفه "نظاماً من نقاط متعددة إلى نقاط متعددة ذات طوبولوجيا الشبكة المتشابهة".

الشكل 1

مثال لنظام من نقاط متعددة إلى نقاط متعددة ذي طوبولوجيا الشبكة المتشابهة



3 تحسين التيسر وخفض قدرة الإرسال

إن الأنظمة من نقاط متعددة إلى نقاط متعددة تنطوي في صميمها على إمكانية تنوع الطرق بين زوج من العقد. وتنقل الحركة من طرف إلى طرف من عقدة المصدر إلى عقدة المقصد عن طريق عقد عابرة متوسطة، وقد تكون هناك عدة طرق بين عقدي المصدر والمقصد. وإذا أصبحت إحدى الوصلات اللاسلكية في نطاق طريق ما غير متيسرة بسبب التوهين الناتج عن المطر، فإن من الممكن تحويل حركة الاتصالات على الطريق اللاسلكي إلى طرق أخرى. ومن الممكن بفضل تأثير تنوع الطرق تحسين تيسر الاتصالات من طرف إلى طرف في الشبكة اللاسلكية المتشابكة المقترحة بالمقارنة مع الأنظمة التقليدية من نقطة إلى نقطة أو الأنظمة من نقاط متعددة إلى نقاط متعددة دون طوبولوجيا الشبكة المتشابكة.

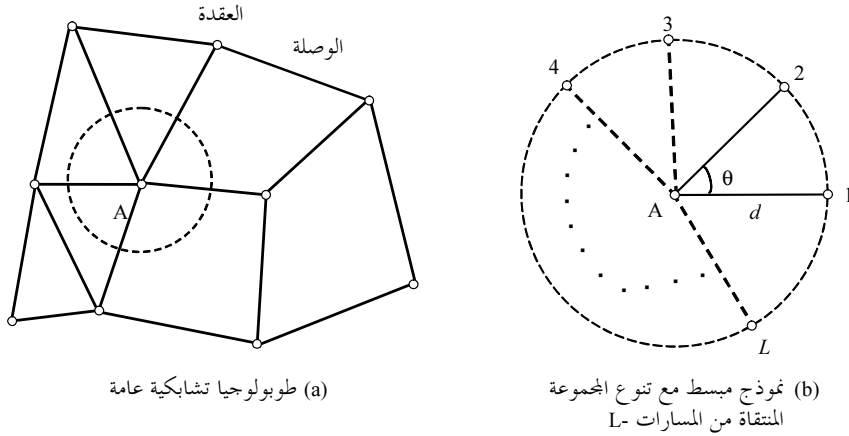
ويعرض هذا القسم نموذجاً تحليلياً ونتائج رقمية شتى للدراسة التحليلية التي تتناول تحسين التيسر وكسب التنوع في الأنظمة من نقاط متعددة إلى نقاط متعددة ذات طوبولوجيا الشبكة المتشابكة. وفي النموذج التحليلي يعبر عن احتمال تعرض عدة وصلات للانحطاط في آن واحد بسبب التوهين الناتج عن المطر بدالة التوزيع غاما متعددة المتغيرات مع الارتباط.

1.3 النموذج التحليلي

يصور الشكل 2 شبكة تشابكية ينبغي تقييمها. وقد بسّطت الوصلات المتعددة المرتبطة بالعقدة A في نطاق شبكة تشابكية (انظر الشكل (2a) عن طريق نموذج (انظر الشكل (2b) حيث توفر الوصلات المتعددة للعقدة A تنوعاً في المسارات L- ومن المفترض في النموذج المبسط أن زاوية الفصل θ بين الوصلات المتجاورة متماثلة وأن لجميع الوصلات نفس الطول d.

الشكل 2

شبكة متشابكة لا سلكية



1.1.3 عدم تيسر العقدة

في الشكل (2b) تصبح العقدة A غير متيسرة إذا صارت جميع الوصلات المرتبطة بالعقدة غير متيسرة في نفس الوقت. ومن ثم كان احتمال عدم تيسر جميع الوصلات التي تتيح تنوع المسارات L- في نفس الوقت يسمى فيما يلي "عدم تيسر العقدة (أي احتمال الانقطاع)". لنفترض أن X_i تدل على متنوع عشوائي لتوهين المطر للوصلة i -th، وأن $f(X_i, X_j, \dots, X_k)$ هي دالة كثافة الاحتمال المشترك لـ X_i, X_j, \dots, X_k . ويحسب عدم تيسر العقدة $p_{NU}^{(L)}$ ، أي احتمال أن تصبح جميع مسارات التنوع إلى العقدة غير متيسرة في نفس الوقت، من المعادلة:

$$(1) \quad p_{NU}^{(L)} = p_u^{12\dots L}$$

حيث،

$$(2) \quad p_u^{12\dots L} = \int_x \dots \int_x f(X_1, X_2, \dots, X_L) dX_1 dX_2 \dots dX_L$$

ونلاحظ أن x في هذه المعادلة تمثل عتبة توهين المطر للمحافظة على تيسر وصلة لا سلكية. وهنا نفترض أن احتمال توهين المطر لوصلة لا سلكية يخضع لتوزيع غاما، وأن هناك مستوى معيناً للارتباط بين مستويات التوهين بسبب المطر في حالة الوصلات اللاسلكية. وبالإضافة إلى توزيعات غاما متعددة المتغيرات وذات الارتباطات العشوائية، تحسب $p_u^{12\dots L}$ بمساعدة المعادلة:

$$(3) \quad p_u^{12\dots L} \approx \delta^v \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Gamma(v+n)}{\Gamma(v) n!} (1-\delta)^n \left[\frac{\Gamma(v+n, x/\delta)}{\Gamma(v+n)} \right]^L$$

حيث:

$\Gamma(a)$: دالة غاما الكاملة

$\Gamma(a, x)$: دالة غاما غير الكاملة من النوع الثاني

والمعادلة الواردة أعلاه دقيقة في حالة $L \leq 2$ وتقريبية في حالة $L > 2$. ولمعلمة الشكل v قيمة نمطية قدرها 0.005 – 0.01 في البلدان المتأثرة بالمطر عند نطاقات الموجات التي تبلغ مليمترًا [1].

وتمثل المسارات L عن طريق المعادلة $\frac{1}{\delta} = \det(\mathbf{R})^{L-1}$ ، حيث:

$$(4) \quad \mathbf{R} = \begin{pmatrix} 1 & \sqrt{\rho_{12}} & \dots & \sqrt{\rho_{1L}} \\ \sqrt{\rho_{12}} & 1 & \dots & \sqrt{\rho_{2L}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sqrt{\rho_{1L}} & \sqrt{\rho_{12}} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

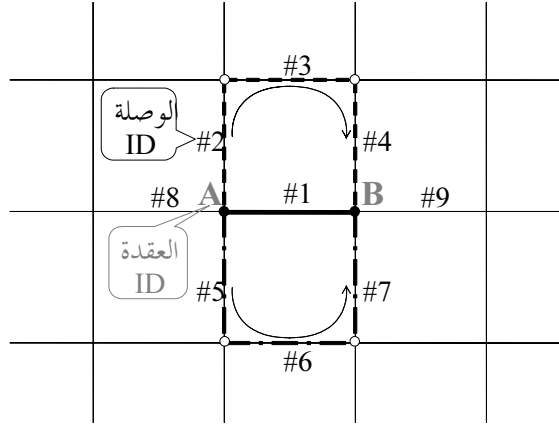
ρ_{ij} هي معامل الارتباط بين الوصلتين i -th و j -th، ومن الممكن تقييمها عن طريق تحديد متوسط قيمة الارتباط المكاني بين شدة المطر في حالة الوصلتين (عن طريق عدد صحيح مضاعف). وفيما يتعلق بمعامل ارتباط مكاني لشدة المطر، فقد جرت العادة على استخدام صيغة تقليدية هي $\rho_r = \exp(-0.3\sqrt{r})$ حيث تكون r مسافة بين موقعين (بالكيلومترات).

2.1.3 تيسر الطرق

لبحث عدم تيسر الطرق في الشبكات المتشابهة يرد فيما يلي نموذج بسيط ذو شبكية مربعة كما هو مبين في الشكل 3. وفيما يتعلق بالطريق ذي الوصلة الواحدة بين العقدتين A و B توجد طرق بديلة عديدة. ومن أقصر الطرق فيما عدا الطريق ذي الوصلة الواحدة بين العقدتين A و B الطريق الذي يتكون من الوصلات 2 و 3 و 4. والطريق الآخر هو الذي يتكون من الوصلات 5 و 6 و 7.

الشكل 3

نموذج ذو شبكية مربعة لشبكة متشابكة لا سلكية



1704-03

يشار إلى عدم تيسر كل الطرق الممكنة بين العقدتين بأنه "عدم تيسر الطرق". وبالنظر إلى أن هناك طريقاً بديلاً واحداً بين العقدتين A و B يتألف من الوصلات 2 و 3 و 4، وذلك عدا الطريق ذي العقدة الواحدة (أي أن هناك طريقين فقط)، فإن عدم تيسر الطرق بين العقدتين A و B يمكن أن يحسب بمساعدة المعادلة (5):

$$(5) \quad p_{RU}^{A-B(2)} = 1 - (p_a^1 + p_a^{234} - p_a^{1234})$$

ولنلاحظ أن الرمز العلوي "A-B(2)" في $p_{RU}^{A-B(2)}$ يعني أن هناك طريقين بين العقدتين A و B. والمتنوع $p_a^{ij\dots k}$ هو احتمال أن تكون جميع الوصلات i و j و k و... و k متيسرة ويمكن حسابه بمساعدة المعادلة (6):

$$(6) \quad \rho_a^{ij\dots k} = \int_0^x \dots \int_0^x f(X_i, X_j, \dots, X_k) dX_i dX_j \dots dX_k$$

$$\approx \delta^v \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Gamma(v+n)}{\Gamma(v)n!} (1-\delta)^n \left[\frac{\gamma(v+n, x/\delta)}{\Gamma(v+n)} \right]^L$$

حيث تكون $\gamma(a, x)$ هي دالة غاما غير الكاملة من النوع الأول. وتمثل L في المعادلة عدد الوصلات (أي i و j و... و k) موضوع النظر.

وإذا كان هناك طريقان بديلان (أي طريق يتألف من الوصلات 2 و 3 و 4، ويتألف الآخر من الوصلات 5 و 6 و 7)، فمن الممكن حساب عدم تيسر الطرق بين العقدتين A و B بمساعدة المعادلة (7):

$$(7) \quad \rho_{RU}^{A-B(3)} = 1 - (p_a^1 + p_a^{234} + p_a^{567} - p_a^{1234} - p_a^{1567} - p_a^{234567} + p_a^{1234567})$$

2.3 تحسين التيسر وكسب التنوع

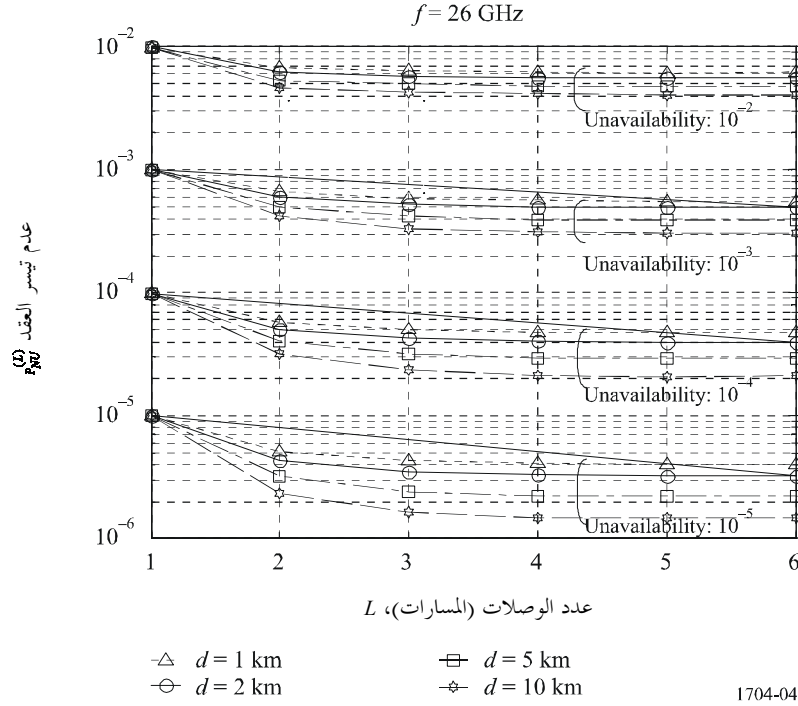
يقدم هذا القسم بعض النتائج الرقمية للدراسة التحليلية فيما يتعلق بتحسين التيسر وكسب التنوع على أساس النموذج التحليلي الوارد في القسم السابق. ومن المفترض أن يبلغ تردد الوصلات اللاسلكية 26 GHz ما عدا بالنسبة إلى الشكل 6 الذي يمثل توقف كسب التنوع على التردد.

ويعرض الشكل 4 عدم تيسر العقد كدالة لعدد مسارات التنوع L (أي الوصلات اللاسلكية المرتبطة بالعقدة). وقد رسم بيانياً عدم تيسر العقد عندما يبلغ عدم التيسر 10^{-2} - 10^{-5} لكل مسار من مسارات التنوع. ويظهر عدم تيسر العقد دون مسارات التنوع عندما تكون $L = 1$. ويتبين أن عدد المسارات إذا زاد عن 4 لا يتيح إلا تحسناً هامشياً. ويعرض الشكل 5 عدم تيسر

العقد كدالة لطول الوصلة d عندما تكون $L = 4$. ويمكن للتنوع بمقدار 4 مسارات مع وجود وصلات راديوية طولها 2 كم إلى العقدة أن يؤدي إلى تقليل عدم التيسر بمقدار عامل قدره حوالي 0,3 - 0,5 بالنسبة للتيسر المحدد البالغ 10^{-2} - 10^{-5} . وكلما زاد طول الوصلة نقص الارتباط المكاني للتوهين الناتج عن المطر بين الوصلات. ويترتب على ذلك أن تحسين عدم تيسر العقد يزداد بزيادة عامل التنوع.

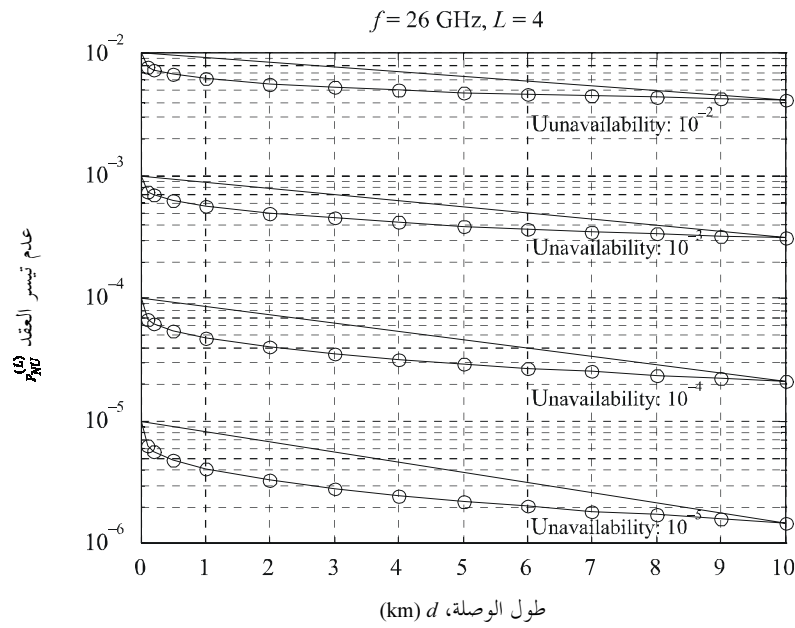
الشكل 4

عدم تيسر العقد كدالة لعدد المسارات L



الشكل 5

عدم تيسر العقد كدالة لطول الوصلة

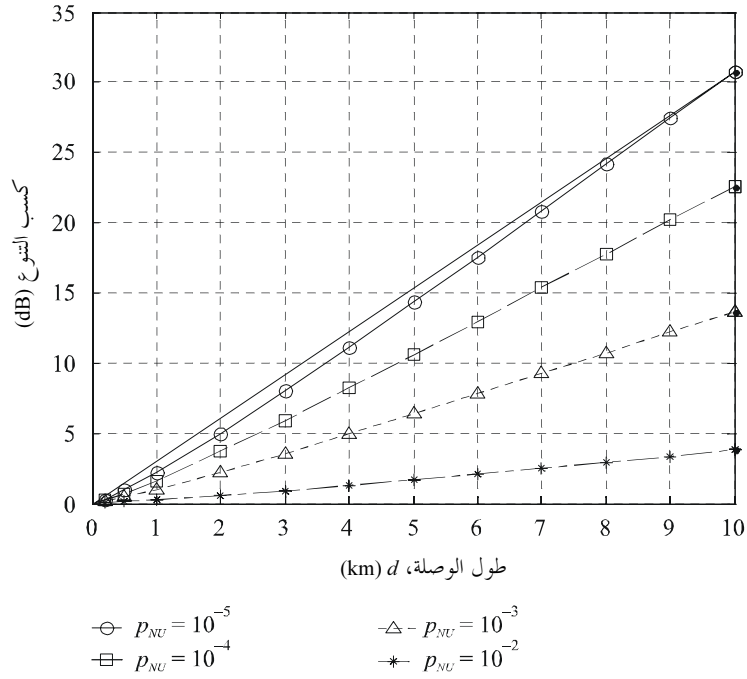


يعرض الشكل (6a) كسب التنوع كدالة لطول الوصلة d إذا كانت $L = 4$. ويمكن لكسب التنوع الذي يساهم في زيادة الهامش في موازنة الوصلة أن يساهم في خفض قدرة الإرسال، أو استخدام هوائيات أصغر يقل فيها الكسب أو تسهيل تصميم نظام الاستقبال عن طريق تخفيف عامل الضوضاء. ويتبين من الشكل أن كسب التنوع يكاد يزداد خطياً إذا زاد طول الوصلة. وكلما قل عدم تيسر العقدة $p_{NU}^{(L)}$ أمكن تحقيق مزيد من كسب التنوع. كما يتبين من الشكل (6b) أن كسب التنوع يزداد كلما ارتفع التردد.

الشكل 6

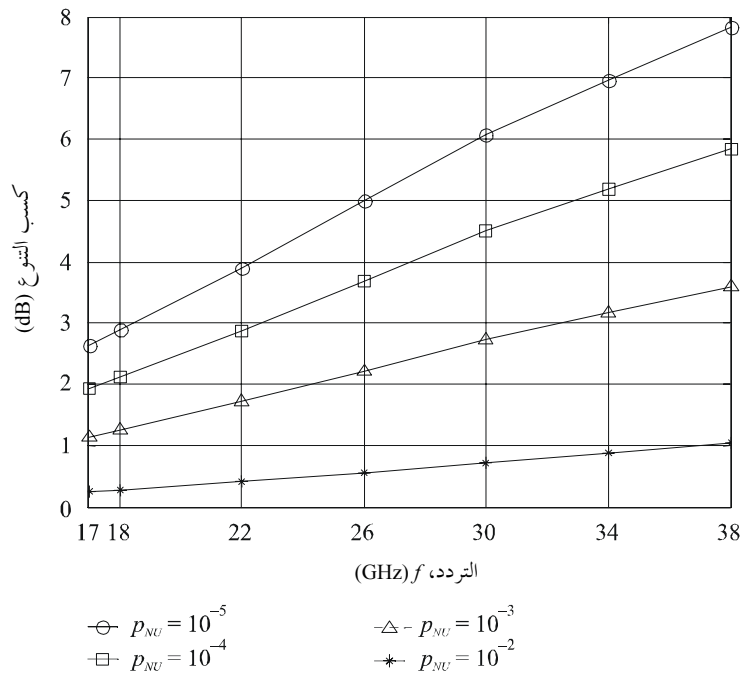
كسب التنوع في طوبولوجيا الشبكة المتشابكة من حيث عدم تيسر العقد

$$f = 26 \text{ GHz}, L = 4$$



(a) كسب التنوع كدالة لطول الوصلة

$$d = 2 \text{ km}, L = 4$$



(b) كسب التنوع كدالة لنطاق الترددات

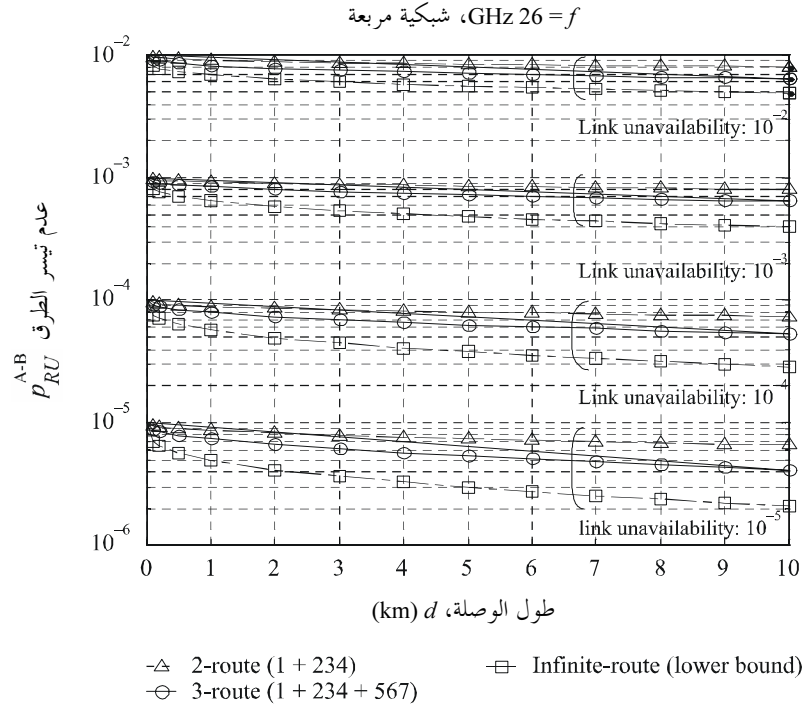
يعرض الشكل 7 عدم تيسر الطرق كدالة لطول الوصلة d . ومن المسلم به أن زيادة عدد الطرق يقلل من عدم تيسر الطرق. كما يظهر في الشكل الحد المنخفض لعدم تيسر الطرق. ويقدر هذا الحد بناء على افتراض مؤداه أن عدداً لا متناهيًا من الطرق بين العقدتين A و B، وهو يحسب بمساعدة المعادلة (8):

$$(8) \quad P_{RU}^{A-B(\infty)} = p_u^{1258} + p_u^{1479} - p_u^{1245789}$$

وتبين المعادلة (8) احتمال أن تصبح إحدى العقدتين (أي العقدة A أو العقدة B) غير متيسرة.

الشكل 7

عدم تيسر الطرق كدالة لطول الوصلة



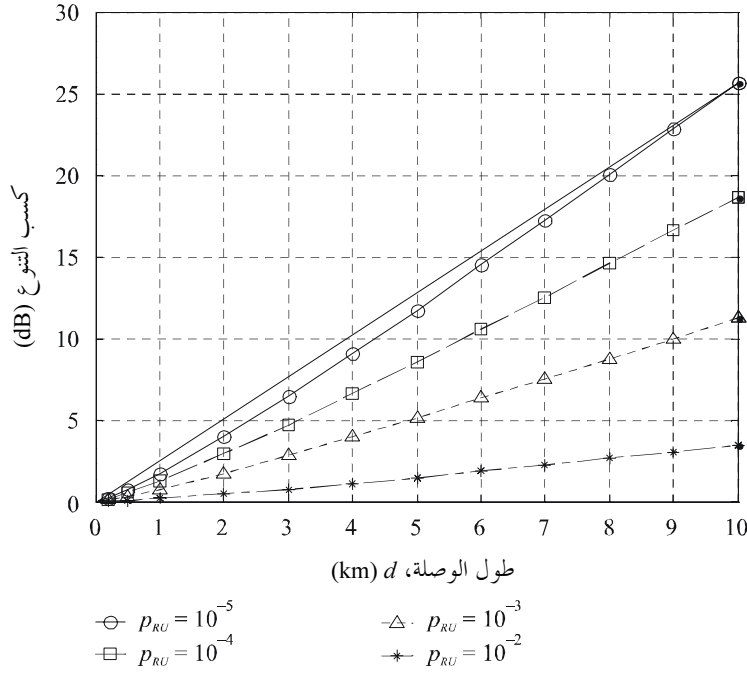
1704-07

وأخيراً يعرض الشكل 8 كسب التنوع كدالة لطول الوصلة d في حالة افتراض أن هناك محددًا لا متناهيًا من الطرق بين العقدتين A و B في الشكل 3. ويسمح هذا بتحديد الحد العالي لكسب التنوع. وتشبه هذه النتائج النتائج المتحصلة من الشكل 6.

الشكل 8

كسب التنوع في طوبولوجيا الشبكة المتشابكة من حيث عدم تيسر الطرق

$f = 26$ GHz، شبكة مربعة: عدد لا متناه من الطرق (الحد العالي)



1704-08

3.3 ملخص النتائج التحليلية

يمكن من النتائج الواردة أعلاه استنتاج ما يلي:

1. من الممكن توقع انخفاض كبير في قدرة الإرسال بسبب كسب التنوع (مثال ذلك أن من الممكن توقع حوالي 10 dB مع افتراض:

- أن طول الوصلة يبلغ 4 km،
- وأن نطاق التردد يبلغ 26 GHz،
- وأن عدم تيسر الوصلة يبلغ 1×10^{-5} ،
- وأن الارتباط المكاني هو $\rho = \exp(-0.3\sqrt{r})$ ، حيث تكون r هي المسافة بالكيلومتر.

2. من الممكن توقع كسب تنوع أكبر إذا:

- قلّ عدم تيسر كل وصلة؛
- زاد طول الوصلة؛
- ارتفع نطاق التردد.

3. فيما يتعلق بجانب التنوع، يكفي 4 مسارات (وصلات) لكل عقدة.

4 وظائف النظام اللازمة لاستغلال تنوع الطرق

1.4 الوظائف اللازمة

الوظائف التالية لازمة للأنظمة من نقاط متعددة إلى نقاط متعددة ذات طوبولوجيا الشبكة المتشابكة، وذلك لتسهيل أثر تنوع الطرق مثل تحسين تيسر الطرق وخفض قدرة الإرسال.

1.1.4 وظيفة إنشاء طرق متعددة بين زوج من العقد

من اللازم، بغية استغلال تنوع الطرق، أن تتضمن الطوبولوجيا المتشابكة المادية في الأنظمة من نقاط متعددة إلى نقاط متعددة وظيفة لإنشاء طرق متعددة بما في ذلك طرق متعددة القفزات.

2.1.4 وظيفة انتقاء تنوع الطرق

إذا أصبح أحد الطرق المشكلة غير متيسر فإنه ينبغي تحويل الحركة المنقولة عبره إلى طرق أخرى متيسرة. وليس هناك غنى إذن عن وظيفة لانتقاء الطرق المناسبة للإبقاء على الاتصالات عبر الطرق دون انقطاع. ومن الملاحظ أن من المتوقع زيادة فعالية تنوع الطرق باستخدام آلية لموازنة حمولة الحركة تعزيراً لقدرة النظام.

3.1.4 وظيفة إدارة نوعية الوصلات

من الضروري للانتفاع بوظيفة انتقاء تنوع الطرق جمع معلومات عن نوعية الوصلات اللاسلكية عبر الشبكة المتشابكة. وينبغي جمع هذه المعلومات ومراعاتها على نحو متواتر وبسرعة لضمان سلاسة انتقال الاتصالات بين الطرق وتقليل فترة عدم تيسر خدمات الاتصالات.

2.4 أمثلة عملية لتحقيق الوظائف المطلوبة

ترد في هذا القسم الفرعي أمثلة عملية لتحقيق الوظائف المطلوبة المذكورة أعلاه.

1.2.4 وظيفة إنشاء طرق متعددة بين زوج من العقد

تنتقي بروتوكولات التسيير المستخدمة حتى الآن في طبقة بروتوكول الإنترنت، مثل المسير الأول المفتوح والأقصر والأسرع (OSPF) وبروتوكول معلومات التسيير، طريقاً واحداً بين عقدتي المصدر والمقصد. ومن ثم تتولى المسيرات في حالة كل عقدتين للمصدر والمقصد إقامة الطريق الوحيد الذي تحدده بروتوكولات التسيير هذه. إلا أن المسير الموضوع في بنیان الشبكة اللاسلكية المتشابكة عند كل عقدة لا سلكية يجب أن تكون له وظيفة لإحالة رزم معطيات بروتوكول الإنترنت إلى طرق متعددة.

وتعد تكنولوجيا تبديل الوسم متعدد البروتوكولات (MPLS) نهجاً واعداً لإنشاء طرق متعددة لأن هذه التكنولوجيا لها قدرة على إنشاء طرق متعددة. فإذا كانت هناك مجموعة من الطرق لكل عقدة خروج، أنشأ المسير عند عقدة للدخول مسيرات موسومة (LSP) مناسبة للطرق التي تستخدم تلك التكنولوجيا.

2.2.4 وظيفة انتقاء تنوع الطرق

قد توجد عدة خيارات لانتقاء طرق متعددة بين زوج من العقد للدخول والخروج. ولتحقيق الاستخدام الفعال لموارد الشبكة المتشابكة، فإن الأمر يتطلب آلية لانتقاء الطرق تعتمد على تكنولوجيا هندسة الحركة. ولتحقيق ذلك الهدف ينبغي انتقاء طرق تقلل القيمة القصوى لحمولة الحركة في الطرق. ولتحديد الطرق المثلى من حيث هندسة الحركة يمكن في أسلوب تجريبي مقترح تجزئة طلب الحركة عند كل عقدة دخول إلى مقادير صغيرة من الطلب تخصص لواحد من بين جميع الطرق المتيسرة بين عقدتي الدخول والخروج مع تقليل الحمولة القصوى للحركة بين حمولات الحركة للطرق.

ولكن ينبغي من جهة أخرى انتقاء طرق ذات ارتباط مكاني ضئيل كطرق تنوع، وذلك بغية الإفادة من مزايا أثر الانحراف في الشبكات المتشابكة، وتقتضي إحدى وسائل الحصول على طرق تنوع ذات ارتباط مكاني ضئيل ما يلي:

الخطوة 1: يحسب معامل الارتباط المكاني $r(i, j)$ بين وصلة هي i في طريق هو x ووصلة هي j في طريق هو y مختلف عن الطريق x .

الخطوة 2: يعرف معامل الارتباط المكاني $r'(x, y)$ لطريقين هما x و y بأنه $r'(x, y) = \max_{f_{ix}} \{ \max_{f_{iy}} r(i, j) \}$ ويحسب $r'(x, y)$ لجميع أزواج الطرق.

الخطوة 3: يُنتقى الطريق ذو القيمة الدنيا $r'(x, y)$.

وثمة أسلوب للجمع بين الأسلوبين الواردين أعلاه لتحديد طرق التنوع، وهو يقتضي انتقاء الطريق x بوصفه الطريق الذي يحدده الأسلوب مع مراعاة هندسة الحركة. ومن ثم كانت الطرق المتعددة بين أزواج عقد الدخول والخروج تفي بشرط الاستخدام الفعال لموارد الشبكة المتشابهة في ظل ظروف الطقس العادية (أي ظروف الطقس غير المطير)، في حين أن طرق التنوع ذات الارتباط المكاني الأدنى تستخدم على نحو فعال مع الطرق العادية لتحويل الحركة في حالة الطقس المطير.

3.2.4 وظيفة إدارة نوعية الوصلة

ينبغي لكي يتحقق الاستخدام الأقصى لموارد الشبكة إخطار جميع العقد في الشبكة المتشابهة بنوعية الوصلات اللاسلكية وطلب الحركة بعد تغير نوعية الوصلة وطلب الحركة مباشرة. ولتحقيق هذا الغرض ينبغي تحويل المعلومات المتعلقة بنوعية الوصلات اللاسلكية الموصولة بعقدة من الوحدة الراديوية إلى مسير العقدة، ويتعين على المسير أن تتوافر لديه وظيفة لرصد طلب الحركة. ومن الممكن أن يتحقق تحويل المعلومات المتعلقة بنوعية الوصلات من الوحدة الراديوية بوصل دورة لبروتوكول مراقبة الإرسال بين الوحدة الراديوية وبين المسير مع إجراء الاتصالات عن طريق بروتوكول مراقبة الإرسال/بروتوكول الإنترنت. ومن المألوف من ناحية أخرى تزويد أجهزة التسيير التجارية بوظيفة مراقبة الحركة.

وبالإضافة إلى وظيفة جمع المعلومات المحلية عن طريق أجهزة التسيير ينبغي لهذه الأجهزة أن تتضمن أيضاً وظيفة لتبادل المعلومات المتعلقة بالوصلة وطلب الحركة. ويقتضي أحد الحلول استخدام "خيار الإعلان غير الواضح عن حالة الوصلة" في بروتوكول الطريق الأول المفتوح والأقصر. وما إن يتعرف جهاز التسيير في الشبكة المتشابهة على تغير في نوعية الوصلة اللاسلكية أو في حجم الحركة، يجري إخطار جميع أجهزة التسيير في الشبكة بالتغير عن طريق آلية للغمر (انظر توصية قطاع تقييس الاتصالات رقم E.360.4). وتختزن المعلومات المتبادلة الصادرة عن العقد اللاسلكية الأخرى في قاعدة المعطيات المتعلقة بحالة الوصلات.

1 التذييل

1 للملحق

مثال لمعطيات التجارب الميدانية عن أثر تنوع الطرق

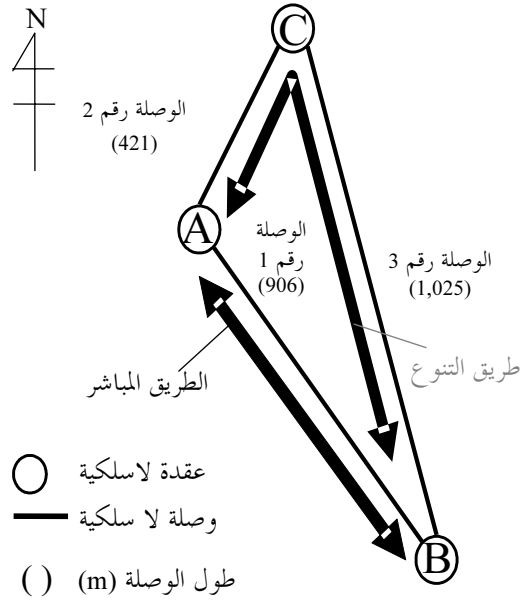
يقدم التذييل 1 نتائج التجارب الميدانية عن التوهين الناتج عن المطر في الوصلات اللاسلكية في شبكة متشابهة ويبين أمثلة لتنوع الطرق.

1 إنشاء شبكة متشابهة لا سلكية ومعلومات النظام

أنشئت الشبكة المتشابهة الموضحة في الشكل 9 في كاميفوكوكا، سايتاما، اليابان، التي تقع بالقرب من طوكيو. وتتألف الشبكة المتشابهة اللاسلكية المستخدمة في التجارب الميدانية من ثلاث عقد لا سلكية وثلاث وصلات لا سلكية. والوصلة رقم 3 كما يتضح من الشكل 1 هي أطول وصلة بين الوصلات الثلاثة. وتتألف إحدى العقد اللاسلكية من وحدات راديوية ومسير لا سلكي واحد يوفر الوظائف المحددة في الفقرة 2.4 من الملحق 1. وترد بإيجاز في الجدول 1 مواصفات النظام الرئيسية في النموذج للوحدات الراديوية. وقد جرى قياس مستويات الإشارات المستقبلية بالنسبة للوصلات اللاسلكية. وكانت فترة القياس ثانية واحدة.

الشكل 9

إنشاء شبكة متشابكة لا سلكية لإجراء تجارب ميدانية



ومن المعروف أن التوهين الناجم عن المطر يقل كلما قصر طول الوصلة. ومن المسلم به إذن أن الطريق متعدد القفزات الذي يتألف من وصلات قصيرة يؤدي إلى انخفاض التوهين الناجم عن المطر بالمقارنة مع الطريق ذي القفزة الواحدة والمؤلف من وصلة طويلة. وينتج عن ذلك أن من الممكن توقع كسب التنوع بانتقاء طريق متعدد القفزات ومكون من وصلات قصيرة.

ومن مزايا الشبكات المتشابكة أن من الممكن الحصول على مكاسب التنوع حتى عند انتقاء طريق تنوع يحتوي على وصلة طويلة. وفي الشكل 9 لنفترض أن الوصلة المباشرة بين العقدتين A و B هي الوصلة رقم 1، وأن طريق التنوع بين العقدتين يتكون من الوصلتين 2 و 3 التي هو أطول وصلة. ويركز هذا القسم على كسب التنوع الناجم عن استخدام طريق للتنوع.

الجدول 1

المواصفات الرئيسية في النموذج الأولي للوحدات الراديوية

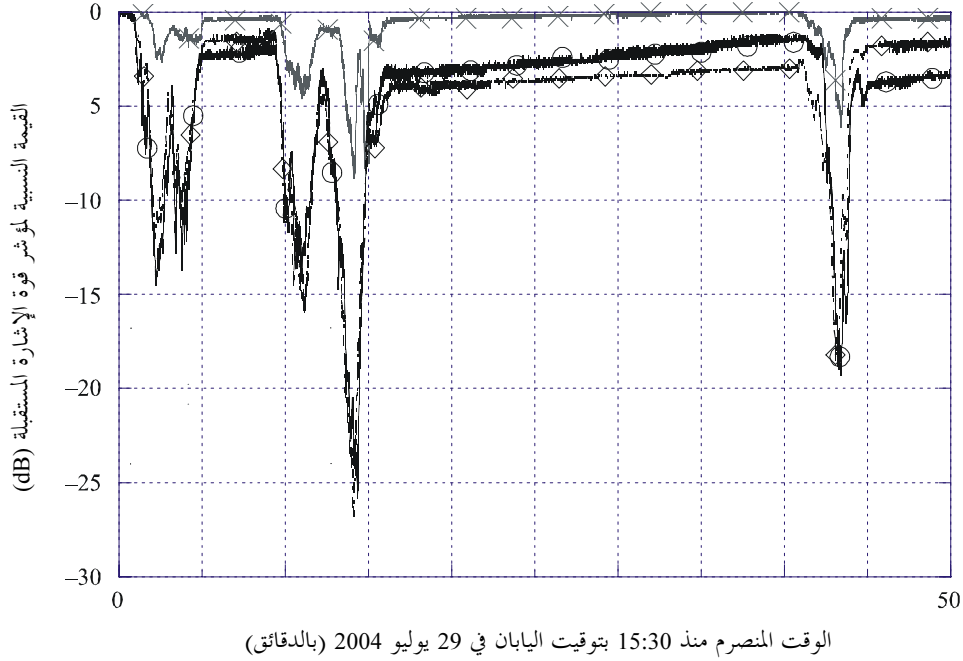
26,86 – 26,80	التردد الراديوي (GHz)
7 على نطاق يبلغ 60 MHz	عدد الفواصل الزمنية بين الترددات
8,5	انفصال الفواصل الزمنية بين الترددات (MHz)
TDD	الأسلوب نصف المزدوج
50	قدرة الإرسال القصوى للموجة الحاملة الواحدة (mW)
35	كسب الهوائي (dBi)

2 معطيات قياس التوهين الناجم عن المطر

ترد في الشكل 10 تغيرات القيم النسبية لمؤشر قوة الإشارة المستقبلية في كل وصلة راديوية في الشبكة المتشابكة. ويبدأ الوقت في الأشكال من 10 إلى 15 من 15:30 وينتهي في 18:00 (بتوقيت اليابان المعياري) في 29 يوليو 2004 عندما أمطرت السماء بغزارة بين حين وآخر بسبب إعصار.

الشكل 10

القيم النسبية لمؤشر قوة الإشارة المستقبلية في حالة الوصلات الراديوية في الشبكة المتشابكة بداية من 15:30 حتى 18:00 بتوقيت اليابان في 29 يوليو 2004



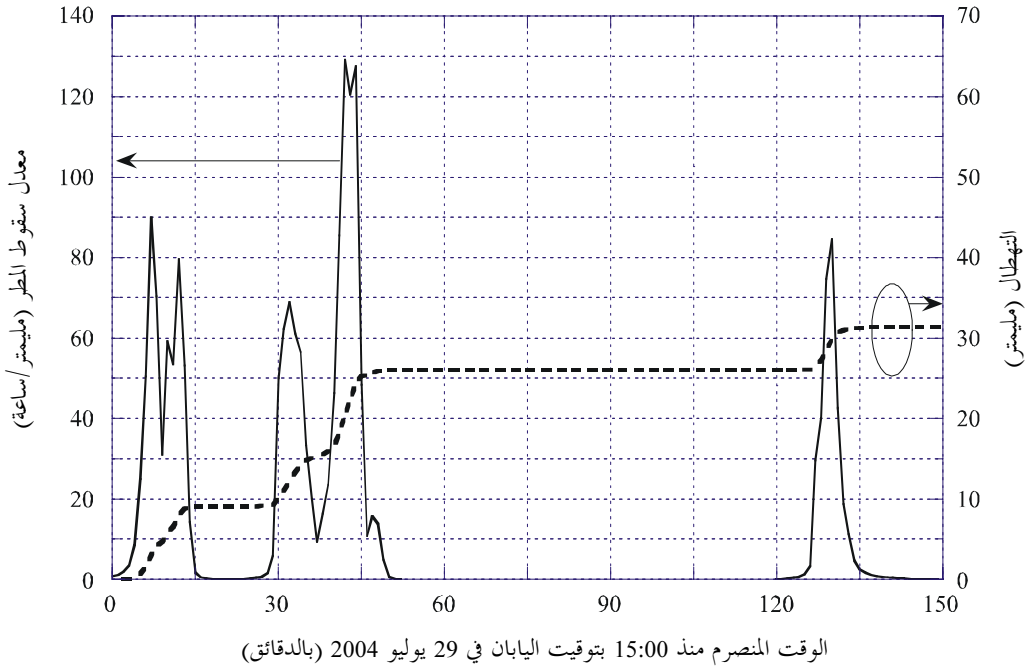
- الوصلة رقم 1
- × الوصلة رقم 2
- ◇ الوصلة رقم 3

ويبين الشكل 11 معدل سقوط المطر والتهطال خلال نفس الفترة التي يتناولها الشكل 10. وتم قياس المطر بمقياس للمطر يصدر نبضة عند تراكم 0,5 ملليمتر من المطر في دلو المقياس والمقام عند العقدة A. ويتبين من الشكل 11 أن المعدل الآني الأقصى لسقوط المطر بلغ حوالي 130 ملليمتر/ساعة، وكانت هناك ثلاثة أحداث من المطر الغزير خلال تلك الفترة. كما يتأكد من الشكلين أن مستويات مؤشر قوة الإشارة انخفضت بشدة أثناء هطول المطر بغزارة. وبلغ المستوى الأقصى للتوهين الناجم عن المطر أكثر من 26 dB بسبب غزارة المطر.

الشكل 11

معدل سقوط المطر والتهطال عند العقدة A من 15:30 إلى 18:00

بتوقيت اليابان في 29 يوليو 2004

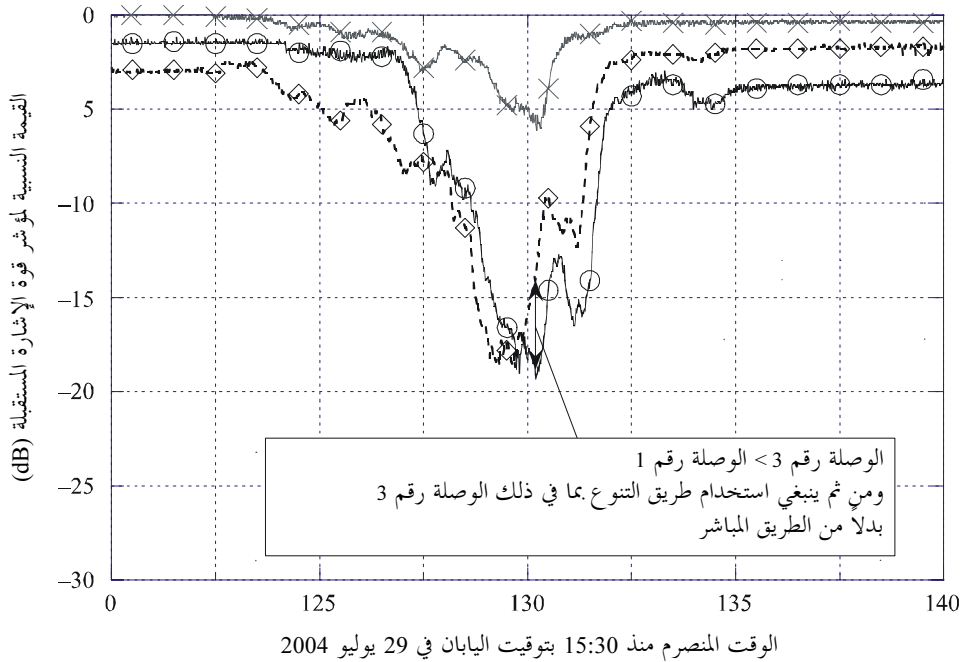


1704-11

ويركز الشكل 12 على فترة معينة من الزمن أثناء فترة القياس المبينة في الشكل 10. وقد تبين أن طريق التنوع بما في ذلك أطول وصلة (الوصلة رقم 3) يرتفع فيه أثناء تلك الفترة مستوى مؤشر قوة الإشارة المستقبلية بالمقارنة بالطريق المباشر للوصلة رقم 1، وذلك نظراً لوجود فترة تخالف على مستوى ذروة التوهين الناجم عن المطر بين الوصلة رقم 1 والوصلة رقم 3. وهذا يعني أن طريق التنوع ينبغي أن يُنتقى. وبذلك يتحقق أثر للتنوع.

الشكل 12

مثال للكسب الناجم عن تنوع الطرق باستخدام أطول وصلة



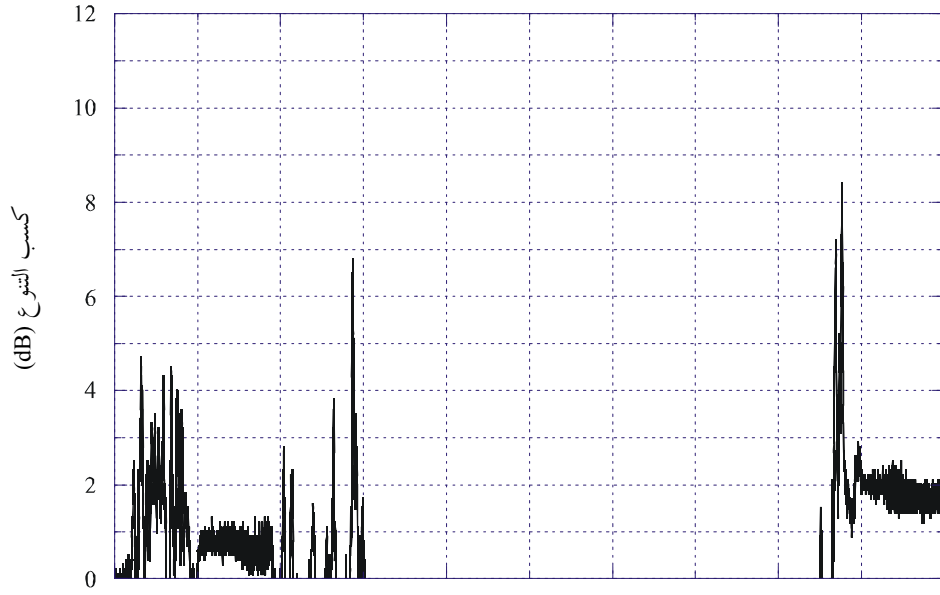
- الوصلة رقم 1
- × الوصلة رقم 2
- ◇ الوصلة رقم 3

1704-12

وبناء على المناقشة الواردة أعلاه يعرف كسب التنوع بأنه مؤشر قوة الإشارة المرسل في حالة الوصلة رقم 3 ناقص المؤشر في حالة الوصلة رقم 1. ويبين الشكل 13 معطيات السلسلة الزمنية لكسب التنوع في نفس الفترة التي يتناولها الشكل 10. ويتبين من الشكل أن الكسب الأقصى الناجم عن التنوع بلغ أكثر من 8 dB، وأن من الممكن توقع حدوث كسب نتيجة للتنوع عند سقوط المطر بغزارة. بل إن الشكل يبين أن من الممكن أن تتوقع تحقيق كسب نتيجة للتنوع حتى في حالة هذه الشبكة المتشابكة الصغيرة التي لا يتجاوز فيها أقصى طول للوصلات 1 كم.

الشكل 13

معطيات السلسلة الزمنية لكسب التنوع منذ 15:30 حتى 18:00 بتوقيت اليابان في 29 يوليو 2004



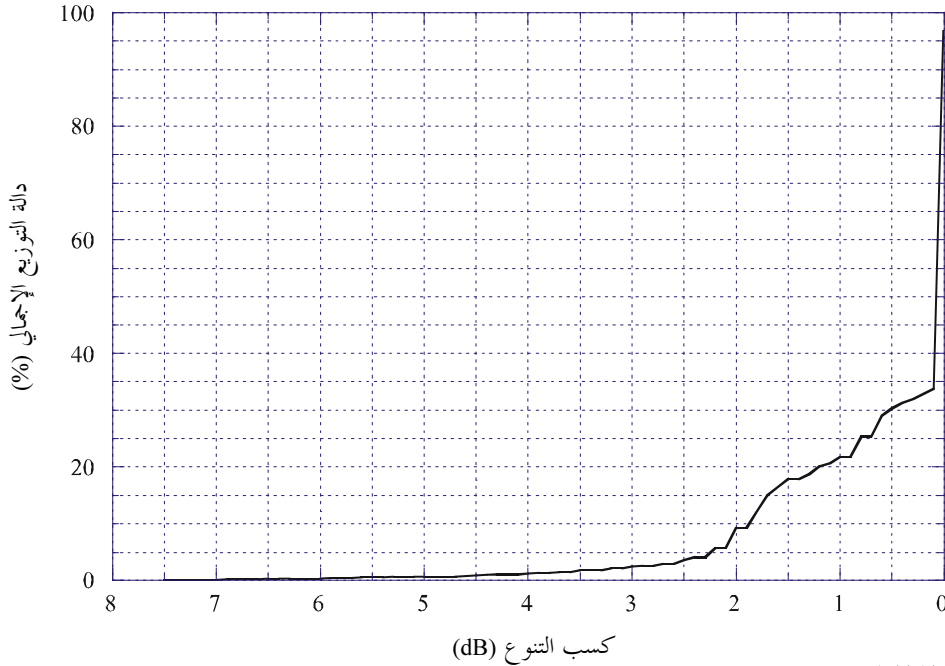
الوقت المنصرم منذ 15:30 بتوقيت اليابان في 29 يوليو 2004 (بالدقائق)

1704-13

ويبين الشكل 14 دالة التوزيع لكسب التنوع. وقد تحقق من هذا الكسب بمقدار 1 dB على الأقل بأكثر من 20% من فترة القياس منذ 15:30 حتى 18:00 بتوقيت اليابان المعياري في 29 يوليو 2004. كما يبين الشكل أن 3 dB من كسب التنوع قد تحققت في 2,4% من الفترة.

الشكل 14

مجموع دالة التوزيع الإجمالي لكسب التنوع



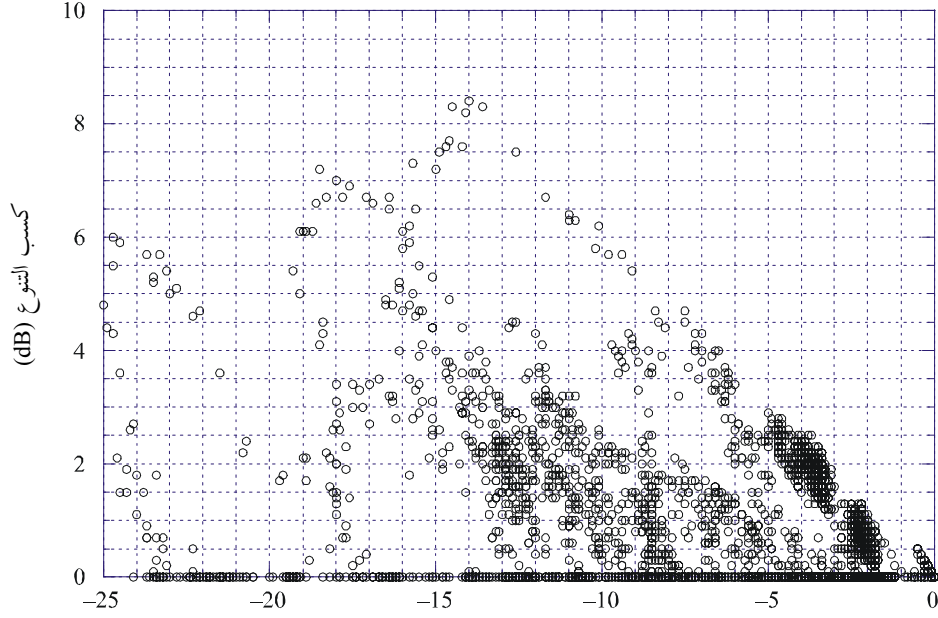
1704-14

وأخيراً يرد في الشكل 15 رسم بياني للانتشار عن كسب التنوع كدالة لمستوى مؤشر قوة الإشارة المستقبلية في حالة الطريق المباشر (أي الوصلة رقم 1)، وذلك لتقديم معلومات عما إذا كان من الممكن توقع أثر التنوع في ظل مستويات مرتفعة من

التوهين الناجم عن المطر. ومن الممكن بناء على هذا الشكل توقع حدوث كسب نتيجة للتنوع لا في حالة انخفاض مستوى توهين المطر فحسب، بل وفي حالة ارتفاع المستوى أيضاً.

الشكل 15

كسب التنوع كدالة للقيمة النسبية لمؤشر قوة الإشارة المستقبلية في حالة الطريق المباشر (أي الوصلة رقم 1)



القيمة النسبية لمؤشر قوة الإشارات المستقبلية في حالة الطريق المباشر (الوصلة رقم 1) (dB)

1704-15

3 ملخص لآثار تنوع الطرق خلال فترة من المطر الغزير عن طريق التجارب الميدانية

يمكن بناء على التجارب الميدانية المبينة أعلاه استنتاج ما يلي:

- بينت النتائج التجريبية أن تنوع الطرق يتحقق خلال فترة سقوط الأمطار بغزارة حتى عند استخدام نظام لطرق متعددة إلى طرق متعددة ذي شبكة متشابكة صغيرة تتكون من ثلاث وصلات من بينها وصلات طولها 1 كم تقريباً.
- أن كسب التنوع تحقق بصفة خاصة خلال فترة ارتفاع مستوى التوهين الناجم عن المطر.
- من الممكن استنتاج ما يلي بناء على القياسات التجريبية الميدانية:
 - تحقيق حد أقصى من كسب التنوع مقداره 8 dB؛
 - تحقق ما لا يقل عن 3 dB من كسب التنوع في 2,4% من فترة القياس.