

دراسة تحليلية لنماذج فقد المسار في انتشار الموجات الراديوية لشبكات الاتصالات الخلوية GSM في مدينة صنعاء

محمد احمد احمد الهذيلي^(1,*)
محمد محسن الشدادى¹
عبدالباسط محمد البشة¹

© 2018 University of Science and Technology, Sana'a, Yemen. This article can be distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

© 2018 جامعة العلوم والتكنولوجيا، اليمن. يمكن إعادة استخدام المادة المنشورة حسب رخصة مؤسسة المشاع الإبداعي شريطة الاستشهاد بالمؤلف والمجلة.

¹ قسم الهندسة الإلكترونية، جامعة العلوم والتكنولوجيا، صنعاء، اليمن
* عنوان المراسلة: hothely2002@yahoo.com

دراسة تحليلية لنماذج فقد المسار في انتشار الموجات الراديوية لشبكات الاتصالات الخلوية GSM في مدينة صنعاء

الملخص:

إن النمو المتسارع لتقنيات الاتصالات اللاسلكية زاد من أهمية التخطيط السليم لشبكة الاتصالات وقبل البدء بالتركيب الفعلي للشبكة ولضمان أن الشبكة لها تغطية كافية، يعتمد مصممي الشبكة بشكل كبير على نماذج انتشار الموجات وهي مجموعة من التعابير الرياضية، والرسوم البيانية المستنتجة من القياسات الشاملة على مجال محدد والتي تستخدم لتمثيل خواص الموجات الراديوية لبيئة معينة. يهدف البحث الى إيجاد نموذج رياضي للتنبؤ بفقد المسار في انتشار الموجات الراديوية لمدينة صنعاء من أجل التخطيط الملائم لأنظمة الاتصالات الخلوية، ومن هذا المنطلق قام الباحث بتطبيق دراسة عملية لمدينة صنعاء من خلال أخذ ثلاث خلايا (محطة القاعدة) كعينة في ثلاث مناطق مختلفة (المنطقة الحضرية، منطقة الضواحي والمنطقة المفتوحة) ويتركز البحث على ثلاث مراحل (مرحلة القياسات و مرحلة المعالجة ومرحلة التحليل والمقارنة) ومن خلال النتائج حصلنا على ثلاث قيم لثوابت فقد المسار a و c للمناطق الثلاث والتي من خلالها نحصل على المنحنيات اللوغاريتمية والتي بدورها تعبر عن نموذج رياضي لعلاقة فقد المسار للإشارة الراديوية بحيث يمكن اعتماد النموذج الرياضي كمرجعية لمهندسي التخطيط الراديوي في مدينة صنعاء عاصمة الجمهورية اليمنية.

الكلمات المفتاحية: نماذج انتشار الموجات، فقد المسار، GSM، المنطقة الحضرية ومنطقة الضواحي والمنطقة المفتوحة، نموذج رياضي.

Analytical Study of Path Loss in Radio Wave Propagation Models of the GSM Cellular Communications Networks in the City of Sana'a

Abstract:

The rapid growth of wireless communication technologies has increased the importance of a proper network planning. Before the actual installation of the network and to ensure that the network is adequately covered, network designers rely heavily on wave propagation models, which are a set of mathematical expressions, and graphs derived from comprehensive field measurements and it is used to represent radio wave properties of a particular environment. The research aims to find a mathematical model to predict the propagation path loss of radio waves in Sana'a city for the appropriate planning of cellular communication systems. In this sense, the researcher applied a practical study to the city of Sana'a by taking three cells (base station) in three different regions (urban and suburban areas and the open area). The research focuses on three stages (the stage of measurements, the stage of analysis and the stage of analysis and comparison). In the results, we obtained three values for path loss constants a and c for the three regions, through which we obtain the logarithmic curves, which in turn has been transformed into mathematical models to be used as a reference for radio planning engineers in the city of Sana'a, the capital of the Republic of Yemen.

Keywords: Wave propagation models, Path loss, GSM, Urban area, Suburban area, Open area, Mathematical model.

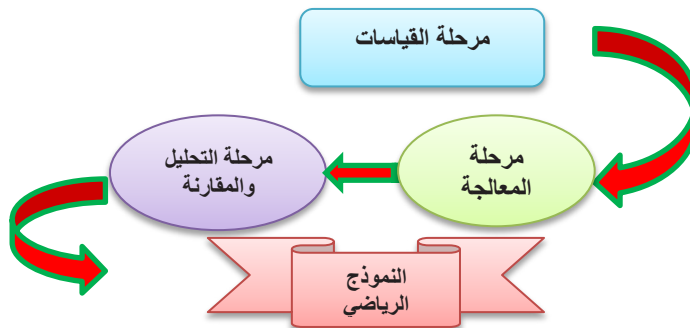
1. المقدمة:

إن النمو المتسارع لتقنيات الاتصالات اللاسلكية زاد من أهمية التخطيط السليم لشبكة الاتصالات وقبل البدء بالتركيب الفعلي للشبكة ولضمان أن الشبكة لها تغطية اذاعية كافية، يعتمد مصممي الشبكة بشكل كبير على نماذج انتشار الموجات وهي مجموعة من التعابير الرياضية، والرسوم البيانية المستنتجة من القياسات الشاملة على مجال محدد والتي تستخدم لتمثيل خواص الموجات الراديوية لبيئة معينة. مما سبق يمكن القول ان عملية التنبؤ بالانتشار تسهل عمل مصممي ومنفذي أنظمة الاتصالات، ومن دون هذه العملية التي تعتمد على نماذج رياضية، تحاكي الواقع قد يتطلب الأمر العديد من القياسات الميدانية التي تكون مكلفة وتتطلب وقتاً طويلاً. وفيما يتعلق بعملية الانتشار الموجي، فإن هناك تحديات عديدة للحصول على نماذج رياضية مثالية تحاكي الواقع.

هناك نماذج نظرية مختلفة للتنبؤ بخسارة مسار انتشار الموجات وصفت من قبل مختلف التجارب البحثية في الأونة الأخيرة ونتائج كل تجربة تعتمد إلى حد كبير على الظروف البيئية التي قامت بها كل تجربة [1] [2] [3] [4] ودراسات أخرى. ومن هذا المنطلق يهدف هذا البحث إلى تقديم دراسة تحليلية شاملة لانتشار الموجات الراديوية لمنظومات الاتصالات الخلوية لنظامي GSM900 و GSM1800 مدينة صنعاء للثلاثة المناطق (المنطقة الحضرية ومنطقة الضواحي والمنطقة المفتوحة) ومقارنتها مع نماذج انتشار الموجات النظرية (Okumura – Hata model ونموذج COST 231-Hata ونموذج ITU-R SM2028) لإيجاد نموذج رياضي يمكن من خلاله التنبؤ بانتشار الموجات الراديوية الملائمة لطبيعة تضاريس مدينة صنعاء بحسب نوعية المنطقة من أجل التخطيط الأمثل لأنظمة الاتصالات الخلوية.

2. خلفية عن الدراسة:

بما ان البحث يهدف إلى الحصول على نموذج رياضي لانتشار الموجات الراديوية ليكون مرجع لمهندسي مصممي شبكة الاتصالات بمدينة صنعاء، فإن الحصول على نموذج رياضي يتطلب عدة قياسات وحسابات ومعالجات وتحليلات، وكل هذه العمليات تزداد تعقيداً بصفتها تقوم على دراسة ثلاث مناطق مختلفة (المنطقة الحضرية ومنطقة الضواحي والمنطقة المفتوحة) ولنظامي GSM900 و GSM1800 وثلاثة نماذج مختارة (نموذج إكيومورا-هاتا (Okumura – Hata model) و نموذج (COST 231-Hata) ونموذج (ITU-R SM2028) [5] [6]، ولذلك فقد حصلنا على أكثر من 60 شكل بياني والعديد من جداول القياسات، ونظراً لأن مساحة الكتابة محدودة بهذه الورقة البحثية فسوف نقتصر على كتابة أهم مراحل الدراسة وأهم البيانات التي حصلنا عليها. ويبين الشكل 1 خطوات ومراحل الدراسة.



شكل (1): الخطوات التي نفذت في هذه الورقة البحثية

3. الدراسة التحليلية لمدينة صنعاء:

تم تطبيق دراسة عملية لمدينة صنعاء وذلك من اجل الحصول على نماذج رياضية خاصة بفقد مسار الإشارة الراديوية في ثلاث مناطق المرحمة والمتوسطة الازدحام والمفتوحة بمدينة صنعاء، وذلك من اجل اعتماد هذه النماذج الرياضية كمرجعية لمهندسي التخطيط الراديوي في صنعاء لتوفر عليهم الكلفة والوقت في المستقبل.

تمت هذه الدراسة على ثلاث مراحل:

1. مرحلة القياسات.

2. مرحلة المعالجة.

3. مرحلة التحليل والمقارنة.

1.3 مرحلة القياسات:

قام الباحث بأخذ ثلاث خلايا (محطة القاعدة) كعينة وهي:

1. محطة القاعدة رقم (91) لشركة سبأفون في المنطقة الحضرية - شارع الزبيري (وسط العاصمة صنعاء).

2. محطة القاعدة رقم (2252) لشركة سبأفون في منطقة الضواحي - شارع شمالان (شمال غرب العاصمة صنعاء).

3. محطة القاعدة رقم (26333) لشركة سبأفون في المنطقة المفتوحة - جولة عمران.

تم قياس فقد المسار للثلاثة خلايا السابقة وذلك بإجراء عدة قياسات عند مسافات مختلفة لقدرة الإشارة المستقبلية من محطة القاعدة في كل خلية للنظامين GSM900 و GSM1800 للثلاثة المناطق.

2.3 مرحلة معالجة البيانات:

للاستفادة القصوى من البيانات المقاسة في المرحلة الاولى توجب إجراء معالجة خاصة لها، وتتكون مرحلة معالجة البيانات من عمليتين وهما:

1.2.3 عملية الترشيح الرقمي لفقد المسار المقاس

نظرا لوجود الضجيج الملوث لإشارات القياس السابقة فقد تم إدخال قيم فقد المسار المقاس من خلايا المناطق الثلاث لنظامي GSM900 و GSM1800 إلى مرشح رقمي للتخلص من هذا الضجيج وساهم ذلك في تحسين عملية إيجاد المنحنى الملائم لفقد المسار والقريب من النماذج المرجعية المختارة، حيث تم استخدام مرشح FIR ذو الاستجابة النبضية المنتهية [7].

2.2.3 عملية إيجاد المنحنى الملائم لفقد المسار المرشح

هي عملية إيجاد النموذج الرياضي للمنحنى التقريبي الذي يمر بالقرب من معظم قيم فقد المسار بأقل خطأ ممكن، وبما أن قيم فقد المسار بالديسيبل فقد تم اعتماد معادلة اللوغاريتم العشري كنموذج رياضي ملائم لفقد المسار، حيث تم استخدام خوارزمية أقل متوسط لمربع الخطأ لإيجاد الثابتين a و c لهذه المعادلة اللوغاريتمية للملائمة لفقد المسار والموضحة في المعادلة رقم [8].

$$lp = a * \log_{10}(d) + c \quad (1)$$

حيث أن:

lp - فقد المسار (dBm)

- a- ثابت انتشار يعبر عن ميل المنحنى ويتم حسابه من معادلة رقم 2.
d- المسافة (Km)
c- ثابت انتشار يعبر عن سعة المنحنى ويتم حسابه من معادلة رقم 3.

$$a = \frac{M \times \sum_{i=1}^M [y_i \times \log(d_i)] - \sum_{i=1}^M [y_i] \times \sum_{i=1}^M [\log(d_i)]}{M \times \sum_{i=1}^M [(\log(d_i))^2] - \{\sum_{i=1}^M [\log(d_i)]\}^2} \quad (2)$$

$$c = \frac{\sum_{i=1}^M [y_i] - a \times \sum_{i=1}^M [\log(d_i)]}{M} \quad (3)$$

إن قيمة الثابت a تعبر عن ميل المنحنى اللوغاريتمي أما قيمة c تعبر عن سعة (ارتفاع) هذا المنحنى والتي تعبر عن القيمة المستمرة لهذا المنحنى، وبما أن ضجيج القياس غالباً ما يكون ضجيجاً أبيض (White Noise) والذي يملك قيمة متوسطة صفرية فهو على الأغلب سيؤثر بشكل كبير على ميل المنحنى (قيمة الثابت a) ويؤثر بشكل قليل على سعة هذا المنحنى (قيمة الثابت c).

إن حساب قيم الثابتين a و c لفقد المسار المقاس وفقد المسار المرشح كل على حدة يهدف إلى تبين الفائدة التي حصلنا عليها من ترشيح الإشارة قبل عملية الملائمة، حيث سيكون ميل المنحنى الملائم لفقد المسار المقاس قبل الترشيح غير مقارب لميل نماذج المقارنة التي سيتم ذكرها لاحقاً بسبب الضجيج بينما ميل المنحنى الملائم لفقد المسار بعد الترشيح مقارب بشكل كبير لميل هذه النماذج، بينما تكون سعة المنحنى الملائم لفقد المسار المقاس قبل الترشيح مقارب بشكل كبير لسعة نماذج المقارنة لأنها لا تتأثر بالضجيج ويسوء هذا التقارب بعد الترشيح بسبب الفقد الناتج عن المرشح.

ولإجراء عملية المقارنة هذه يجب ملائمة نماذج المقارنة بنفس المعادلة اللوغاريتمية رقم (1) وذلك بإيجاد قيم الثابتين a و c لهذه النماذج في المناطق الثلاث لنظامي GSM900 و GSM1800 وذلك باستخدام المعادلتين (2) و (3).

يوضح الجدول رقم (1) قيم ثوابت الملائمة لفقد المسار قبل وبعد الترشيح وللنماذج الثلاثة في المناطق الثلاث لنظامي GSM900 و GSM1800.

جدول (1): المنطقة الحضرية (شارع الزبيري) - محطة القاعدة رقم (91)

المنحنى الملائم $lp = a * \log_{10}(d) + c$											
ثوابت الملائمة										النظام الخلوي	المنطقة
ITU-R SM2028		COST 231-Hata		Okumura-Hata		النموذج الملائم					
a_{SM}	c_{SM}	a_{ch}	c_{ch}	a_{okh}	c_{okh}	مع المرشح		بدون المرشح			
a	c	a	c	a	c	a	c	a	c		
35.23	128.44	35.74	130.77	35.74	131.44	11.24	131.92	34.97	113.59	GSM900	المنطقة الحضرية
35.23	137.27	35.74	139.88	35.74	138.47	4.02	134.57	35.40	122.66	GSM1800	المنطقة الحضرية
35.23	118.38	35.74	127.75	35.74	121.39	12.87	125.27	35.62	99.55	GSM900	منطقة الضواحي
35.23	125.44	35.74	136.84	35.74	126.63	5.56	127.64	35.67	104.50	GSM1800	منطقة الضواحي
35.23	99.74	35.74	124.75	35.74	105.72	15.00	113.94	35.33	91.67	GSM900	المنطقة المفتوحة
35.23	105.52	35.74	133.84	35.74	109.96	15.58	120.51	35.98	89.84	GSM1800	المنطقة المفتوحة

3.3 مرحلة المقارنة :

قام الباحث بمقارنة المنحنيات الملائمة للمناطق السابقة قبل وبعد الترشيح مع منحنيات نموذج GSM900 ونموذج COST 231-Hata ونموذج Okumura – Hata ونموذج ITU-R SM2028 لنظامي GSM900 و GSM1800 ومن ثم حساب دقة التقارب بينها وبين منحنيات الملائمة لفقد المسار وفق الخطوات التالية [9] :

1. حساب القيمة المتوسطة لثوابت الانتشار لكل من منحنيات الملائمة ونماذج المقارنة وتعتبر هذه القيم المتوسطة قيم مرجعية للمقارنة كما يلي :

$$a_{avg} = \frac{a + a_{okh} + a_{ch} + a_{SM}}{4} ; c_{avg} = \frac{c + c_{okh} + c_{ch} + c_{SM}}{4}$$

2. حساب الانحراف المعياري لثوابت الانتشار لكل من منحنيات الملائمة ونماذج المقارنة كما يلي :

$$a_{std} = \sqrt{\frac{a^2 + a_{okh}^2 + a_{ch}^2 + a_{SM}^2 - 4a_{avg}^2}{4}} ; c_{std} = \sqrt{\frac{c^2 + c_{okh}^2 + c_{ch}^2 + c_{SM}^2 - 4c_{avg}^2}{4}}$$

3. حساب الخطأ النسبي المئوي والذي يعبر عن نسبة اختلاف قيم الثوابت a و c لمنحنيات الملائمة عن القيم المرجعية للمقارنة كما يلي :

$$a_{Error} = \left| \frac{a - a_{avg}}{a_{avg}} \right| \times 100 ; c_{Error} = \left| \frac{c - c_{avg}}{c_{avg}} \right| \times 100$$

4. حساب الدقة المئوية والتي تعبر عن نسبة تقارب قيم الثوابت a و c لمنحنيات الملائمة من القيم المرجعية للمقارنة كما يلي :

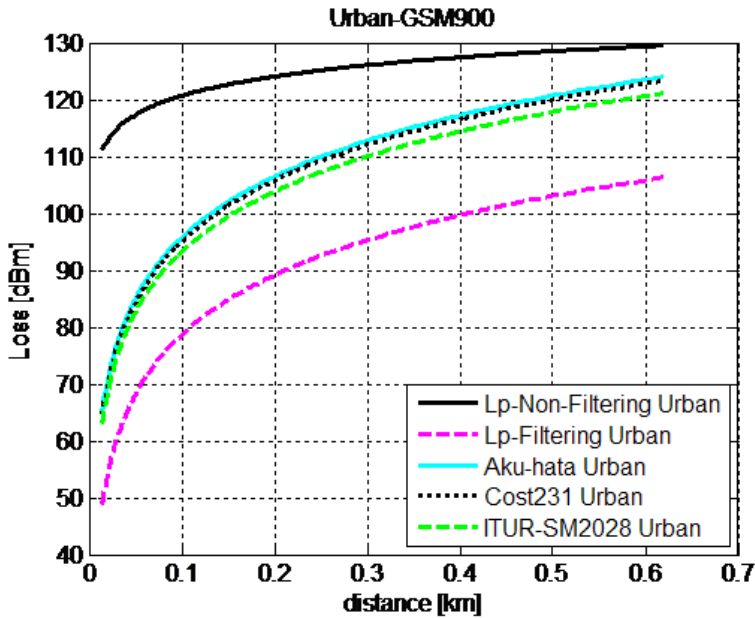
$$a_{Acur} = \left| \frac{a}{a_{avg}} \right| \times 100 ; c_{Acur} = \left| \frac{c}{c_{avg}} \right| \times 100$$

ويعرض الجدول (2) عمليات التحليل والمقارنة للمناطق الثلاث لنظامي GSM900 و GSM1800.

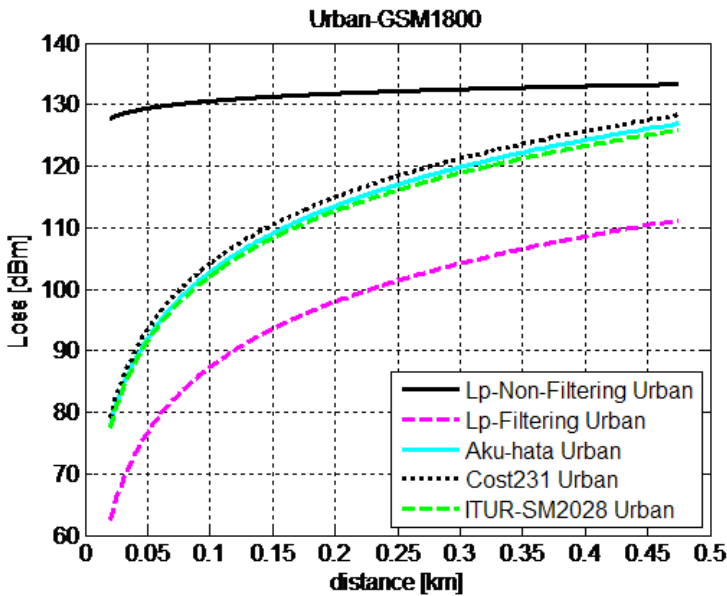
جدول (2): التحليل والمقارنة للمنطقة الحضرية

الدقة النسبية	الخطأ النسبي	الانحراف المعياري	القيمة المتوسطة	ثوابت الانتشار					قبل أو بعد الترشيح	التردد	المنطقة		
				ITU-R SM2028	COST231 Hata	Okumura Hata	النموذج الملائم						
98.72%	1.27%	0.38	35.42	35.23	35.74	35.74	34.97	a	بعد الترشيح	900	المنطقة الحضرية		
% 38.10	% 61.90	12.17	29.49				11.24					قبل الترشيح	
90.11%	9.89%	8.41	126.06	128.44	130.77	131.44	113.59	c	بعد الترشيح				
99.02%	0.98%	1.54	130.64				131.92		قبل الترشيح				
99.64%	0.36%	0.26	35.52	35.23	35.74	35.74	34.40	a	بعد الترشيح			1800	المنطقة الحضرية
% 14.50	% 85.50	15.78	27.68				4.02		قبل الترشيح				
91.15%	8.85%	8.01	134.57	137.27	139.88	138.47	122.66	c	بعد الترشيح				
97.84%	2.16%	2.25	137.57				134.57		قبل الترشيح				
% 99.90	0.10%	0.25	35.58	35.23	35.74	35.74	35.57	a	بعد الترشيح	900	منطقة الضواحي		
% 43.04	% 56.96	11.36	29.90				12.87		قبل الترشيح				
% 85.25	% 14.75	12.13	127.75	118.38	127.75	121.39	130.44	c	بعد الترشيح				
% 98.32	% 1.68	4.14	123.20				125.27		قبل الترشيح				
99.79%	0.21%	0.25	35.60	35.23	35.74	35.74	35.67	a	بعد الترشيح			1800	المنطقة المتوسطة
% 19.81	% 80.19	15.01	28.07				5.56		قبل الترشيح				
% 84.72	% 15.28	13.57	123.35	125.44	136.84	126.63	104.50	c	بعد الترشيح				
% 98.84	% 1.16	5.20	129.14				127.64		قبل الترشيح				
% 99.50	0.50%	0.273	35.51	35.23	35.74	35.74	35.33	a	بعد الترشيح	900	المنطقة المتوسطة		
% 49.30	% 50.70	10.28	30.43				15.00		قبل الترشيح				
% 87.14	12.86%	13.99	105.55	99.7	124.75	105.72	91.97	c	بعد الترشيح				
97.39%	% 2.61	10.84	111.04				113.94		قبل الترشيح				
% 99.14	0.86%	0.32	35.67	35.23	35.74	35.74	35.98	a	بعد الترشيح			1800	المنطقة المتوسطة
% 50.96	% 49.04	10.00	30.57				15.85		قبل الترشيح				
% 81.83	% 18.17	18.21	109.80	105.52	133.84	109.96	89.84	c	بعد الترشيح				
% 97.40	% 2.60	12.60	117.46				120.51		قبل الترشيح				

يبين الشكلان (2) و(3) المنحنيات الملائمة للمنطقة الحضرية قبل وبعد الترشيح بالمقارنة مع النماذج الثلاثة لنظامي GSM900 و GSM1800 على التوالي.

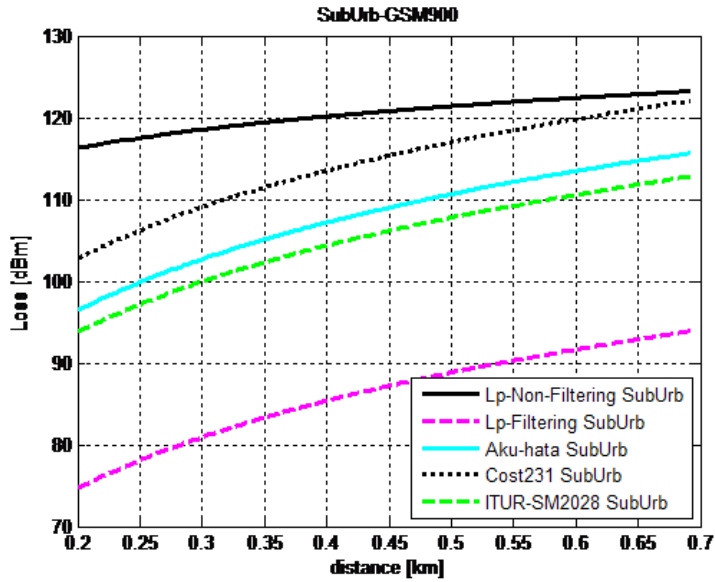


شكل (2): مقارنة بين المنحنيات الملائمة السابقة ومنحنيات النماذج الثلاثة مع المرشح في المنطقة الحضرية لنظام GSM900

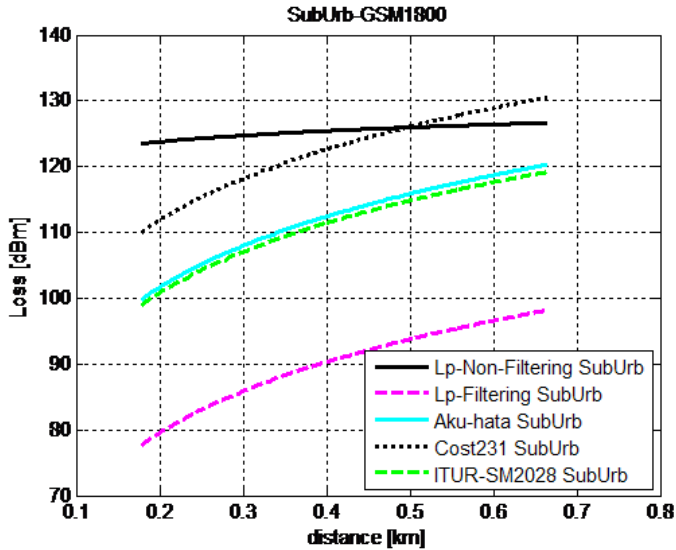


شكل (3): مقارنة بين المنحنيات الملائمة السابقة ومنحنيات النماذج الثلاثة مع المرشح في المنطقة الحضرية لنظام GSM1800

كما يبين الشكلان (4) و (5) منحنيات النماذج الثلاثة لمنطقة الضواحي بالمقارنة مع المنحنيات الملائمة المقترحة لنظامي GSM900 و GSM1800 على التوالي.

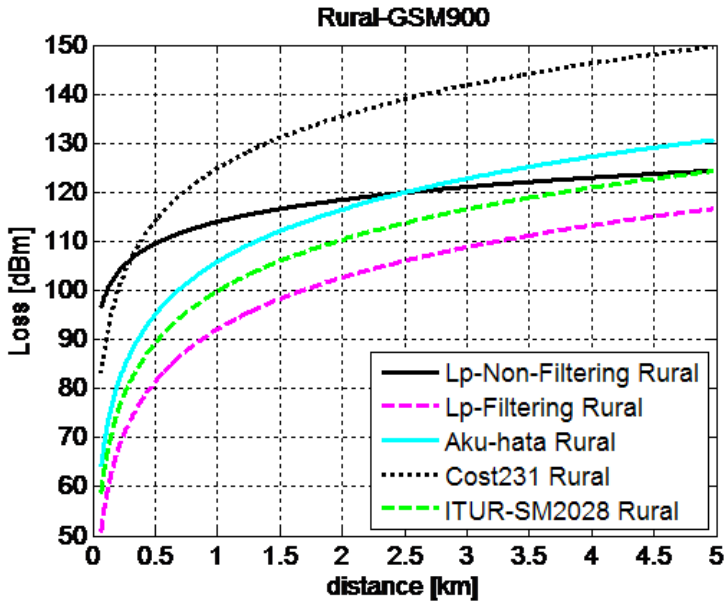


شكل (4): مقارنة بين المنحنيات الملائمة السابقة ومنحنيات النماذج الثلاثة مع المرشح في منطقة الضواحي لنظام GSM900

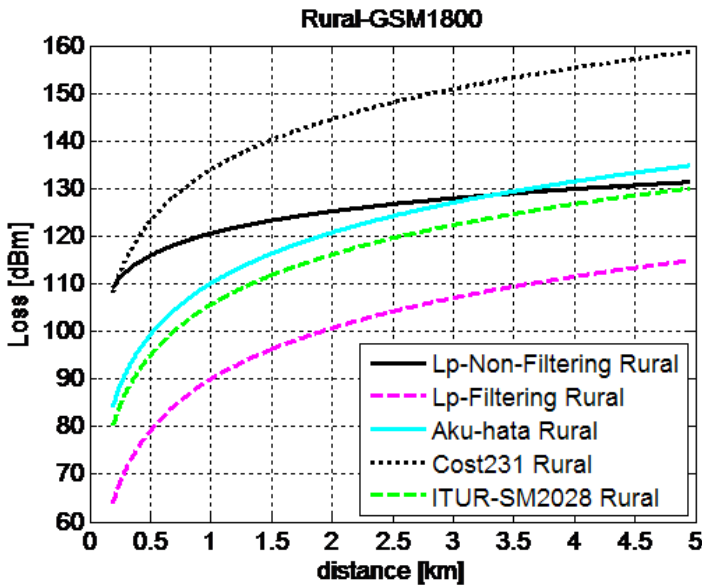


شكل (5): مقارنة بين المنحنيات الملائمة السابقة ومنحنيات النماذج الثلاثة مع المرشح في منطقة الضواحي لنظام GSM1800

ويبين الشكلان (6) و (7) منحنيات النماذج الثلاثة للمنطقة المفتوحة بالمقارنة مع المنحنيات الملائمة المقترحة لنظامي GSM900 و GSM1800 على التوالي.



شكل (6): مقارنة بين المنحنيات الملائمة السابقة ومنحنيات النماذج الثلاثة مع المرشح في منطقة المفتوحة لنظام GSM900



شكل (7): مقارنة بين المنحنيات الملائمة السابقة ومنحنيات النماذج الثلاثة مع المرشح في منطقة المفتوحة لنظام GSM1800

4.3 تحليل النتائج :

قام الباحث بمقارنة المنحنيات الملائمة للمناطق السابقة قبل وبعد الترشيح مع منحنيات نموذج Okumura – Hata ونموذج COST 231-Hata ونموذج ITU-R SM2028 لنظامي GSM900 و GSM1800 ومن ثم حساب دقة التقارب بينها وبين المنحنيات الملائمة لفقد المسار وفق الخطوات التالية [9]:

ستتم عملية تحليل نتائج المقارنة السابقة لكل ثابت انتشار على حدة في المناطق الثلاث لنظامي GSM900 و GSM1800 وذلك بالاعتماد على الجدول (2) وعلى الأشكال من رقم (2) إلى رقم (7) في عملية تحليل النتائج كما يلي:

أولاً: ثابت ميل المنحنيات الملائمة C في المناطق الثلاث لنظامي GSM900 و GSM1800:

- 1 نلاحظ أن قيمة a بعد الترشيح قريبة جداً من القيمة المرجعية (القيمة المتوسطة) مقارنة بقيمته قبل الترشيح.
- 2 نلاحظ أن قيمة الانحراف المعياري لثابت الميل C بعد الترشيح والتي تتراوح بين (0.25 – 0.38) أقل بكثير من قيمتهما قبل الترشيح والتي تتراوح بين (10.00 – 15.78).
- 3 نلاحظ أن قيمة الخطأ النسبي المئوي لثابت الميل C بعد الترشيح والتي تتراوح بين (0.10% – 1.27%) أقل بكثير من قيمتهما قبل الترشيح والتي تتراوح بين (49.04% – 85.50%).
- 4 نلاحظ أن قيمة الدقة النسبية المئوية لثابت الميل a بعد الترشيح والتي تتراوح بين (99.90% – 98.72%) أكبر بكثير من قيمتهما قبل الترشيح والتي تتراوح بين (14.50% – 50.96%).

ثانياً: ثابت سعة المنحنيات الملائمة C في المناطق الثلاث لنظامي GSM900 و GSM1800:

- 1 نلاحظ أن قيمة C قبل الترشيح قريب جداً من القيمة المرجعية (القيمة المتوسطة) مقارنة بقيمته بعد الترشيح.
- 2 نلاحظ أن قيمة الانحراف المعياري للثابت C قبل الترشيح والتي تتراوح بين (1.54 – 12.60) أقل من قيمتهما بعد الترشيح والتي تتراوح بين (8.01 – 18.21).
- 3 نلاحظ أن قيمة الخطأ النسبي المئوي للثابت C قبل الترشيح والتي تتراوح بين (0.98% – 2.61%) أقل من قيمتهما بعد الترشيح والتي تتراوح بين (8.85% – 18.17%).
- 4 نلاحظ أن قيمة الدقة النسبية المئوية للثابت C قبل الترشيح والتي تتراوح بين (97.39% – 99.02%) أكبر من قيمتهما بعد الترشيح والتي تتراوح بين (81.83% – 91.15%).

نلاحظ مما سبق أن القيم الاحصائية لثابت ميل منحنى الملائمة a في المناطق الثلاث لنظامي GSM900 و GSM1800 تتحسن بشكل كبير بعد الترشيح لان المرشح يلغي تأثير الضجيج على هذه القيم.

بينما نلاحظ أن القيم الاحصائية لثابت سعة منحنى الملائمة C في المناطق الثلاث لنظامي GSM900 و GSM1800 تسوء بشكل طفيف بعد الترشيح بسبب الفقد ضمن المرشح بينما يكون تأثير الضجيج على هذا الثابت غير ملحوظ لان القيمة المتوسطة للضجيج الابيض معدومة لذلك فهي لا تؤثر على سعة المنحنى والتي تعبر عن القيمة المستمرة لهذا المنحنى، وهذا يثبت صحة ما تم مناقشته في الفقرة (2.4.2) عملية إيجاد المنحنى الملائم لفقد المسار المرشح).

لذا يتم اعتماد قيم ثابت ميل المنحنيات الملائمة C بعد الترشيح، ويتم اعتماد قيم ثابت سعة المنحنيات الملائمة C قبل الترشيح في النموذج المقترح في المناطق الثلاث لنظامي GSM900 و GSM1800.

4. النموذج الرياضي المقترح لمدينة صنعاء:

استنادا للتحليل السابق يمكن صياغة النموذج الملائم لتحديد فقد المسار والذي يمكن اعتماده كنموذج رياضي عام لتحديد فقد المسار في العاصمة اليمنية صنعاء للثلاثة المناطق (حضرية - ضواحي - مفتوحة) ولكلا الترددين GSM900 و GSM1800 كما هو موضح بالجدول (3).

جدول (3): النموذج الرياضي المقترح

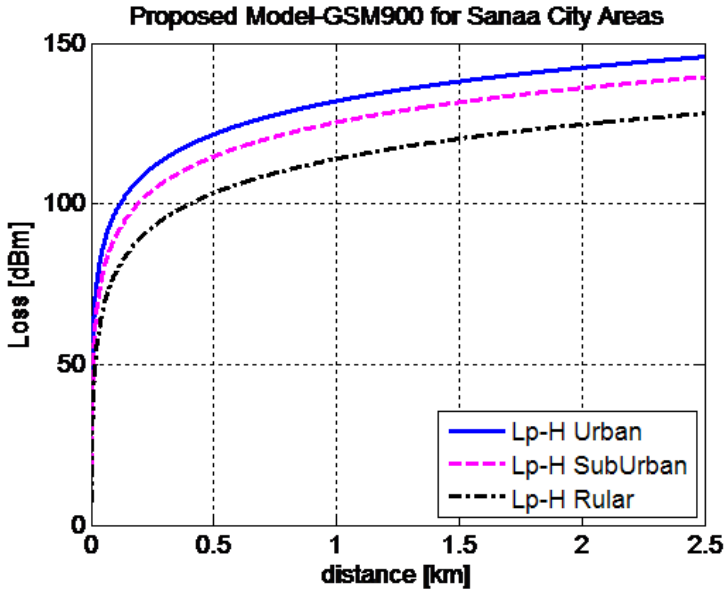
النموذج المقترح لنظام GSM900		النموذج المقترح لنظام GSM1800		نوع المنطقة
$lp = a * \log_{10}(d) + c$				
a	c	a	c	
34.97	131.92	34.40	134.57	المنطقة الحضرية
35.57	125.27	35.67	127.64	منطقة الضواحي
35.33	113.94	35.98	120.51	المنطقة المفتوحة

نلاحظ من الجدول (3) أن قيمة الثابت a لا يتأثر تقريبا بالتردد العامل لكل منطقة لذلك يمكن اعتماد القيمة المتوسطة لقيم هذا الثابت عند كلا الترددين وذلك لكل منطقة كما هو موضح بالجدول (4).

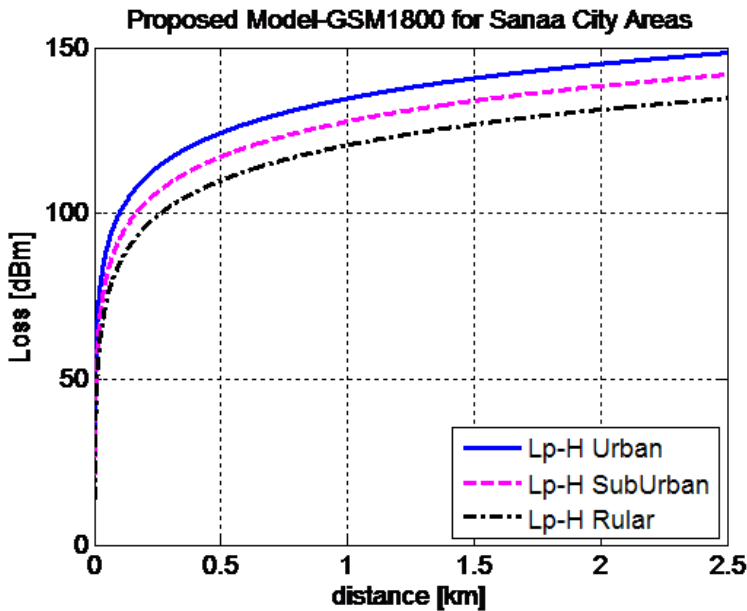
جدول (4): النموذج الرياضي المقترح

النموذج المقترح لنظام			نوع المنطقة
$lp = a * \log_{10}(d) + c$			
GSM900+ GSM1800	GSM900	GSM1800	
a	c		
34.69	131.92	134.57	المنطقة الحضرية
35.62	125.27	127.64	منطقة الضواحي
35.66	113.94	120.51	المنطقة المفتوحة

يبين الشكلان (8) و (9) رسما توضيحيا لهذا النموذج المقترح في المناطق الثلاث.

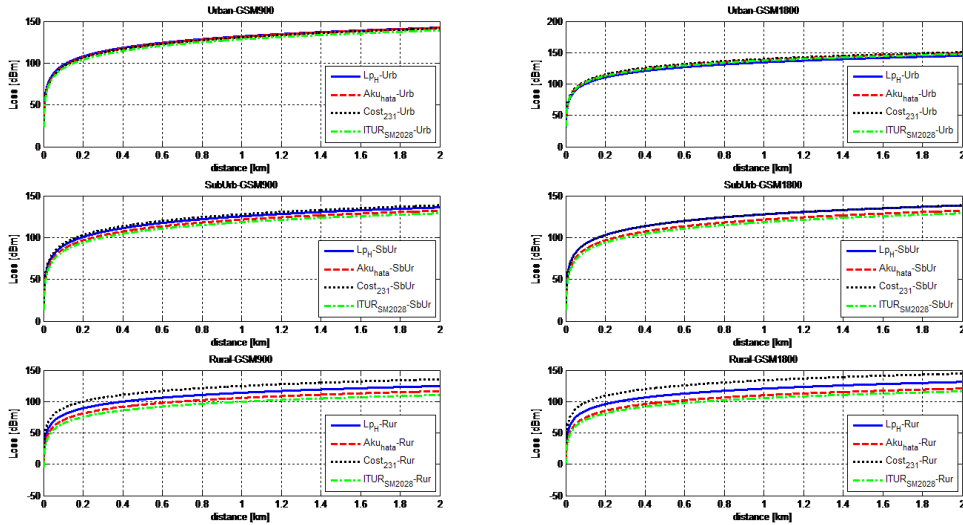


شكل (8): منحنيات النموذج الرياضي للمناطق الثلاث لنظام GSM900 لمدينة صنعاء



شكل (9): منحنيات النموذج الرياضي للمناطق الثلاث لنظام GSM1800 لمدينة صنعاء

يبين الشكل (10) النموذج المقترح لمدينة صنعاء بالمقارنة مع منحنيات النماذج المرجعية الثلاثة للمناطق الثلاث GSM900 و GSM1800 على التوالي.



شكل (10): منحنيات النموذج الرياضي بالمقارنة مع منحنيات النماذج المرجعية للمناطق الثلاث

5. الاستنتاجات والتوصيات:

يمكن تلخيص اهم ما توصلت اليه الدراسة في النقاط التالية :

- 1 يؤثر الضجيج بشكل كبير على الثابت α وبشكل غير ملحوظ على الثابت C لان القيمة المتوسطة للضجيج الابيض معدومة لذلك فهي لا تؤثر على سعة المنحنى C والتي تعبر عن القيمة المستمرة لهذا المنحنى.
 - 2 يقوم المرشح بالغاء تأثير الضجيج على الثابت α الذي يكون كبيرا، بينما يسبب هذا المرشح فقد بسيط في قيمة الثابت C .
 - 3 نلاحظ مما سبق أن القيم الاحصائية لثابت ميل منحنى الملائمة a تتحسن بشكل كبير بعد الترشيح، بينما القيم الاحصائية لثابت سعة منحنى الملائمة C تسوء بشكل طفيف بعد الترشيح وذلك في المناطق الثلاث لنظامي GSM900 و GSM1800.
 - 4 لذا يتم اعتماد قيم ثابت ميل منحنى الملائمة a بعد الترشيح، ويتم اعتماد قيم ثابت سعة منحنى الملائمة C قبل الترشيح في النموذج المقترح في المناطق الثلاث لنظامي GSM900 و GSM1800.
 - 5 نلاحظ أن قيمة الثابت α في النموذج المقترح لا تتأثر تقريبا بالتردد العامل لكل منطقة لذلك يمكن اعتماد القيمة المتوسطة لقيم هذا الثابت عند كلا الترددات وذلك لكل منطقة.
- كما ان الدراسة تعاني من حدود زمانية ومكانية وموضوعية واضحة وسيكون من المفيد استكمال الدراسة في الاتجاهات التالية.
- 1 دراسة نماذج اخرى لانتشار الموجات الراديوية وتطبيقها على العاصمة صنعاء بهدف ايجاد نموذج او معادلات رياضية تساهم في عملية تحسين شبكة الاتصالات في الجمهورية اليمنية.

- 2 عمل دراسات تحليلية للنماذج الانتشار الموجات الراديوية لنظام CDMA في الجمهورية اليمنية.
- 3 زيادة عدد الخلايا التي تتم عليها الدراسة.
- 4 اضافة متغيرات اخرى تؤثر في كمية الفقد و من اهمها ارتفاع هوائيات المحطات القاعدية.

شكر وتقدير:

نود أن نتقدم بشكر والاحترام لكلا من:

- 1 شركة سبافون للاتصالات بتوفيرها البيانات المهمة لإعداد هذه الدراسة.
- 2 جامعة العلوم والتكنولوجيا لتوفيرها الاجهزة اللازمة للقياس من معاملها والدعم العلمي.

المراجع:

- [1] T. K. Sarkar, Z. Ji, K. Kim, A. Medour & M. S. Palma, "A Survey of Various Propagation Models for Mobile Communication", IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 45, no. 3, Jun. 2003.
- [2] Ayu Kartika R., Hani'ah M., Nur Adi S., "The Comparison of Propagation Model for Terrestrial Trunked Radio (TETRA)", EMITTER International Journal of Engineering Technology, vol.1, no.1, ISSN : 2443 – 1168, 2013.
- [3] Jalel Chebil, Ali K. Lawas and M.D. Rafiqul Islam, "Comparison Between Measured and Predicted Path Loss for Mobile Communication in Malaysia" World Applied Sciences Journal 21 (Mathematical Applications in Engineering): pp. 123-128, 2013.
- [4] Kadhim, Ali Lwas, "Investigation of propagation Path Loss models for Mobile Communications based on Measured Data in Malaysia". Master thesis, International Islamic University Malaysia, 2011.
- [5] Rappaport, T. S., "Wireless communications: Principles and practice. Prentice Hall communications engineering and emerging technologies series". Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, 2002.
- [6] Hata, M. "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services". IEEE Transactions on Vehicular Technology. VT-29 (3): pp. 317–325, Aug. 1980.
- [7] Steve Winder, "Analog and Digital Filter Design", Second Edition, Elsevier Science (USA), 2002.
- [8] MathWorks, "Curve Fitting Toolbox User's Guide", COPYRIGHT 2001-2002 by The MathWorks, Inc.
- [9] Robert B. Northrop, "Introduction to Instrumentation and Mesurments", Second Edition, CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business, Version Date: 20110713.